SIS - Sistemas Instrumentados de Segurança

Ano 10 - nº53 - 2011 - Europa: € 3,90 - Brasil: R$ 14,90

www.mecatronicaatual.com.br

MECATRÔNICA Atual

AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL DE PROCESSOS E MANUFATURA

SABER

Blindagem e Aterramento na Automação Industrial

Entenda e proteja-se de descargas atmosféricas

ISSN 1676-0972

Analisadores de Espectro na Industria

WirelessHART™ e o modelo OSI

Calia1Y2

FESTO

Este é o componente cada vez mais exigido pelo setor eletrônico: precisão.

Quanto mais as exigências avançam, mais a Festo vai à frente, trazendo inovações e sistemas de movimentação com total qualidade e precisão. Garras, vácuo, sensores, sistemas de visão, eixos elétricos, válvulas rápidas e muito mais para o sucesso do setor. É a Festo com você, conectada ao desenvolvimento da indústria eletroeletrônica.

Festo.
Gente movida a inovação.
www.festo.com.br

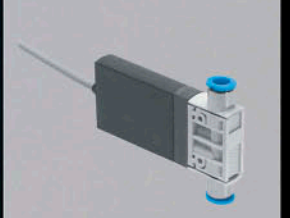
EMPRESA INOVADORA anpei

Garras

Tecnologia de Vácuo

Sistemas de Visão

Manipuladores


Válvula Rápida

Editora Saber Ltda
Diretor
Hélio Fittipaldi

MECATRÔNICA Atual
www.mecatronicaatual.com.br

Editor e Diretor Responsável
Hélio Fittipaldi

Revisão Técnica
Eutíquio Lopez

Redação
Elizabete Rossi

Publicidade
Caroline Ferreira

Designer
Diego Moreno Gomes

Colaboradores
Alexandre Capelli
César Cassiolato

PARA ANUNCIAR: (11) 2095-5339
publicidade@editorasaber.com.br

Capa
Ilustração sobre foto do Stock.XCHNG/www.sxc.hu

Impressão
Parma Gráfica e Editora

Distribuição
Brasil: DINAP
Portugal: Logista Portugal tel.: 121-9267 800

ASSINATURAS
www.mecatronicaatual.com.br
fone: (11) 2095-5335 / fax: (11) 2098-3366
atendimento das 8:30 às 17:30h

Edições anteriores (mediante disponibilidade de estoque), solicite pelo site ou pelo tel. 2095-5330, ao preço da última edição em banca.

Mecatrônica Atual é uma publicação da Editora Saber Ltda, ISSN 1676-0972. Redação, administração, publicidade e correspondência: Rua Jacinto José de Araújo, 315, Tatuapé, CEP 03087-020, São Paulo, SP, tel./fax (11) 2095-5333

Associada da:
anatec
www.anatec.org.br
Associação Nacional das Editoras de Publicações Técnicas, Dirigidas e Especializadas

Editorial

Hélio Fittipaldi

Nos últimos anos, a automação vem crescendo em todo o mundo numa velocidade maior, seja pela concorrência asiática, por uma melhor qualidade em alguns setores, ou mesmo por custos e até falta de mão de obra especializada.

Com a crise mundial iniciada em 2008 nos EUA, e agora se estendendo para a Europa, temos um rearranjo em diversos países. O Brasil é um deles e neste exato momento está sofrendo mudanças significativas.

Não só o capital estrangeiro está vindo para nossas bolsas de valores. Agora, temos uma entrada em massa de mão de obra qualificada e só neste ano de 2011 deveremos ter mais de 65 mil estrangeiros trabalhando aqui. Em 2010 foram cerca de aproximadamente 50 mil estrangeiros.

Junto com eles, têm vindo também empresas de diversas nacionalidades para aproveitarem as oportunidades de crescimento de demanda e também de possíveis barreiras para importação de bens e serviços que possam ocorrer no futuro e, assim, diminuirem a exportação de seus países de origem para o Brasil.

Além de tudo, temos ainda um fato novo que é o Pré-Sal e suas enormes reservas petrolíferas. Muitas feiras de negócios também estão se instalando aqui, vindas da Europa e dos EUA. Nesta edição mostramos a feira alemã SPS/IPC/Drives 2011, que teve a cobertura jornalística do nosso enviado especial Daniel Appel. Lá encontramos uma única empresa brasileira, que pela segunda vez marcou presença neste evento. É a Altus de São Leopoldo, no Rio Grande do Sul, que não olvida esforços para ampliar suas exportações. É uma pena que só ela estava tentando maior internacionalização de suas vendas.

E a sua empresa, não vai se esforçar também para se internacionalizar!?

Hélio Fittipaldi

Submissões de Artigos
Artigos de nossos leitores, parceiros e especialistas do setor, serão bem-vindos em nossa revista. Vamos analisar cada apresentação e determinar a sua aptidão para a publicação na Revista Mecatrônica Atual. Iremos trabalhar com afinco em cada etapa do processo de submissão para assegurar um fluxo de trabalho flexível e a melhor apresentação dos artigos aceitos em versão impressa e *online*.

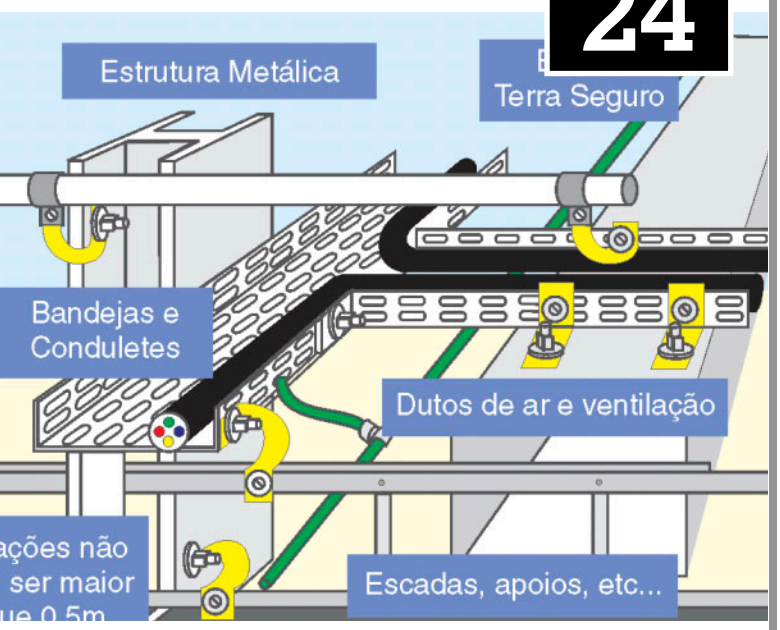
Atendimento ao Leitor: atendimento@mecatronicaatual.com.br

Os artigos assinados são de exclusiva responsabilidade de seus autores. É vedada a reprodução total ou parcial dos textos e ilustrações desta Revista, bem como a industrialização e/ou comercialização dos aparelhos ou idéias oriundas dos textos mencionados, sob pena de sanções legais. As consultas técnicas referentes aos artigos da Revista deverão ser feitas exclusivamente por cartas, ou e-mail (A/C do Departamento Técnico). São tomados todos os cuidados razoáveis na preparação do conteúdo desta Revista, mas não assumimos a responsabilidade legal por eventuais erros, principalmente nas montagens, pois tratam-se de projetos experimentais. Tampouco assumimos a responsabilidade por danos resultantes de imperícia do montador. Caso haja enganos em texto ou desenho, será publicada errata na primeira oportunidade. Preços e dados publicados em anúncios são por nós aceitos de boa fé, como corretos na data do fechamento da edição. Não assumimos a responsabilidade por alterações nos preços e na disponibilidade dos produtos ocorridas após o fechamento.

índice

16

24



12 Analisadores de Espectro

16 Descarga Atmosférica

24 Dicas de blindagem e aterramento em Automação Industrial

40 WirelessHART™ e o modelo OSI

46 SIS - parte 3

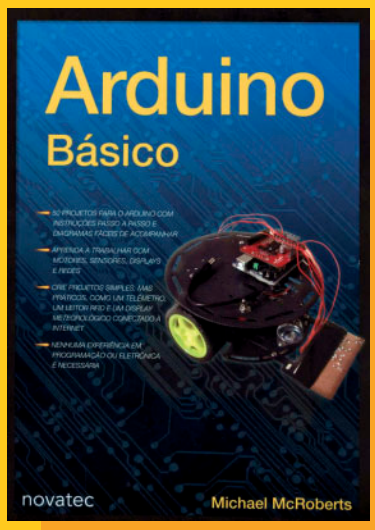
Editorial 03

Notícias 06

Indice de Anunciantes:

Metaltex.....05
Mosaico.....09
Jomafer.....11
Mectrol.....15
NovaSaber.....23
Festo.....Capa 2
Tektronix.....Capa 3
Omron.....Capa 4

literatura



Com 50 projetos incríveis, você passará do estágio de iniciante em programação com o Arduino até adquirir as habilidades mais avançadas e a confiança necessária para criar seus próprios projetos. Não é necessário ter nenhuma experiência em programação ou eletrônica!
Em vez de exigir que você leia páginas e páginas de teoria antes de começar a criar seus projetos, este livro adota uma abordagem mais prática. Você mergulhará diretamente na criação de projetos desde o início, aprendendo a utilizar diversos componentes elétricos e a programar o Arduino para controlar ou se comunicar com esses componentes,.
Usando uma didática comprovada com diagramas claros de protoboards, exemplos completos de código e simples instruções passo a passo você aprenderá a exibir textos e gráficos em displays LCD, utilizar telas de toque, utilizar sensores digitais de pressão, ler e escrever dados em cartões SD e muito mais.

Arduino Básico
Autor: Michael McRoberts
Preço: R$ 89,00
Onde comprar: www.novasaber.com.br

A Metaltex oferece **soluções completas** em automação industrial!
- Linhas de produtos para diversos tipos de aplicações
- Entrega imediata e excelentes condições comerciais
- Suporte da Engenharia de Aplicações e muito mais!

Só a Metaltex lhe oferece tantos benefícios!

METALTEX desde 1958

Tempo, temperatura e contagem

Temporizadores, contadores,
programadores horários, controladores e indicadores.

www.metaltex.com.br

SÃO PAULO: (11) 5683-5706
CAMPINAS: (19) 3741-3590
ESPIRITO SANTO: (27) 3533-1803
MINAS GERAIS: (31) 3384-9476
PARANÁ: (41) 3357-3370
PERNAMBUCO: (81) 3342-0235
RIO DE JANEIRO: (21) 3872-3227
RIO GRANDE DO SUL: (51) 3362-3652
SANTA CATARINA: (47) 3435-0439

Microscópio VHX-1000.

Robô SCARA para linha de produção.

Motores Lineares: sem eixos, engrenagens e correias.

Cobertura da SPS/IPC/ Drives 2011 na Alemanha

A revista Mecatrônica Atual fez a cobertura da feira SPS/IPC/Drives 2011. A convite da organização do evento, Daniel Appel foi a Nuremberg e destaca os principais aspectos da feira.

Keyence

No estande da Keyence, a empresa deixou claro seu domínio da tecnologia óptica ao tornar o invisível em algo impressionantemente visível.

Sua câmera de ultra alta velocidade, com capacidade de registrar 230 mil quadros por segundo, permite analisar, com facilidade, fenômenos e operações de curtíssima duração, como todo o ciclo de um motor de combustão, em câmera lenta (veja o vídeo em nosso canal em **www.youtube.com/EditoraSaber**).

Para aqueles cuja necessidade não é a de enxergar pequenas escalas de tempo, mas sim pequenas dimensões, a empresa apresentou seus microscópios digitais 3D. Capaz de mapear o relevo de uma superfície microscópica em três dimensões, o VHX-1000 ainda registra imagens de 54 megapixels!

A Keyence é especialista em sistemas ópticos industriais, outras informações sobre seus produtos podem ser encontradas no site **www.keyence.com**.

Omron

A especialista em automação promoveu, dentre vários itens, sua linha SCARA de robôs industriais. Segundo a empresa os robôs são robustos e não têm correias e partes eletrônicas móveis. Além disso, podem ser programados facilmente utilizando uma biblioteca open source.

Motores lineares compactos

A CPC aproveitou a feira para lançar sua linha de motores lineares. Compactos e rápidos, têm bobinas sobrepostas para diminuir seu comprimento e corpo de resina Epoxi para diminuir o peso, aumentar a capacidade de aceleração e melhorar a precisão de posicionamento.

National Instruments

Com uma linha de produtos que se encaixa perfeitamente no perfil da feira, a National Instruments apresentou inúmeras soluções modulares de aquisição de dados, controle e monitoramento, câmeras para automação de linha de produção e componentes para redes wireless de sensores.

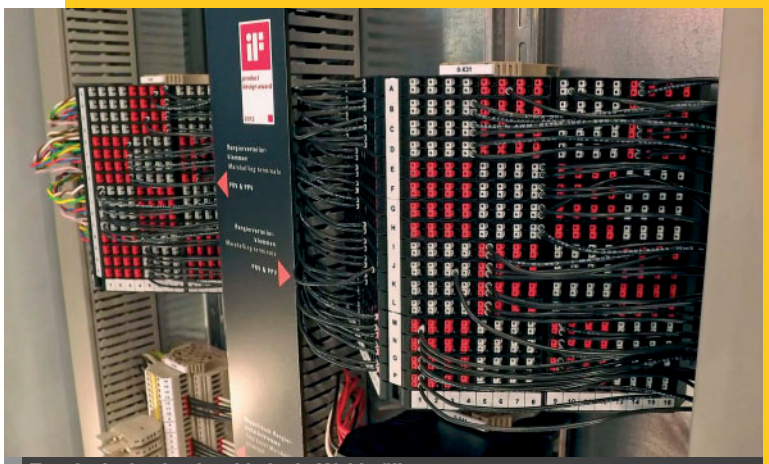
Weidmüller

A alemã Weidmüller tem uma linha completa de soluções para conectividade industrial, cabeamento, conectorização, conexão, identificação e roteamento de sinais. Seus produtos vão desde alicates de crimpar até soluções completas de infraestrutura de comunicação para parques de geração de energia eólica.

Com um portfólio tão grande, o estande da Weidmüller se destacava no pavilhão 9. Em exibição estavam interfaces de conexão para sensores e atuadores, ferramentas para cabeamento da linha stripax, relés para sistemas de segurança e placas de interface DCS, além do lançamento mais recente, os terminais de alta densidade do tipo PUSH IN.

Esses terminais são compactos e têm grande quantidade de conexões. Para remover um fio, basta utilizar uma chave de fenda pequena, ou até mesmo uma caneta, para soltar a trava e simplesmente puxá-lo. Inserir um fio é ainda mais fácil: é só inseri-lo no ponto desejado, que o terminal o travará no local automaticamente.

Segundo Arnd Schepmann, gerente de processos global da empresa, os novos terminais reduzem o tempo de manutenção e também o espaço requerido para a organização dos cabos, e são uma das grandes apostas da empresa no momento.



Terminais de alta densidade da Weidmüller.

Rockwell Automation

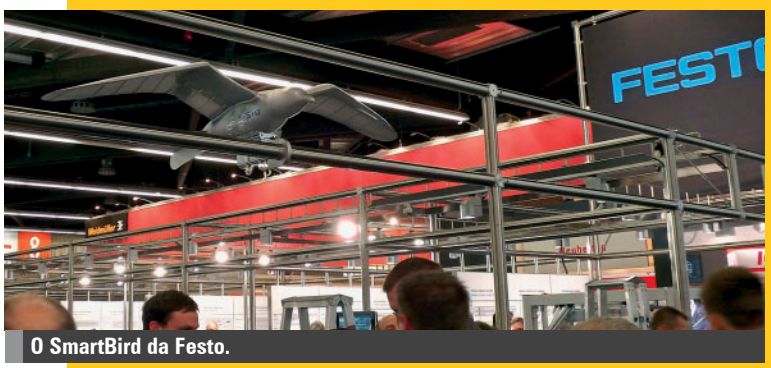
Um dos itens apresentados pela Rockwell foi a nova série de controladores programáveis de automação Allen-Bradley ControlLogix 5570, com mais memória, mais velocidade e mais capacidade de processamento.

Além disso, a empresa ainda anunciou a disponibilização de informações sobre mais de dez mil produtos no portal de dados EPLAN, para facilitar a vida dos clientes.

Festo

A também alemã Festo estava em casa. Seu estande exibia suas inúmeras soluções de acionamentos eletricos e pneumáticos, módulos ethernet, CAN e soluções de I/O digital e analógico.

É claro que não seria um estande da Festo se não houvesse uma exibição de suas impressionantes tecnologias biônicas: o SmartBird voava sobre o estande enquanto os engenheiros explicavam seu funcionamento. Segundo a empresa, o estudo desse tipo de tecnologia permite criar soluções mais simples e eficientes para automação.



O SmartBird da Festo.

O estudo da natureza possibilita o desenvolvimento de soluções mais simples e eficientes.

Altus é a única brasileira expondo na Alemanha

Em meio a milhares de multinacionais presentes na gigantesca SPS/IPC/Drives 2011, é claro que encontraríamos pelo menos uma empresa brasileira. A Altus de São Leopoldo no Rio Grande do Sul, com estande próprio, exibindo duas linhas de produtos: o CLP Duo e o novíssimo Nexto.

Com cerca de dois anos de mercado, os CLPs da série DUO oferecem controle e supervisão de processos em um único produto. Equipado com um processador ARM7, conta com 42 portas de I/O digitais e analógicas (com resolução de 12 bits), duas portas seriais que suportam tanto MODBUS RTU quanto qualquer protocolo desenvolvido para a aplicação.

Um diferencial interessante é que o software de desenvolvimento é de *download* livre, não é necessário nenhum tipo de registro ou licença. Disponível em Português, Espanhol e Inglês, ele conta com recursos de simulação e suporta seis linguagens de programação diferentes, sendo possível até usar mais de uma na mesma aplicação:

- Ladder Diagrams;
- Structure Text;
- Instruction List;
- Function Block Diagram;
- Sequential Function Charts;
- Continuous Function Chart.

Já a linha Nexto é a grande novidade. O mais recente lançamento da empresa, trata-se de uma avançada plataforma de automação destinada a sistemas industriais complexos, capaz de operar de forma distribuída e redundante.

Baseada na arquitetura PowerPC (RISC 32bits), a CPU Nexto é veloz, capaz de executar 145 mil instruções booleanas por milissegundo. Ela dá suporte para vários níveis de redundância: CPU, fonte, barramento e rede, tudo com capacidade de Hot Swap para minimizar o tempo de manutenção.

Um dos focos da linha Nexto é na facilidade de manutenção. Os módulos de I/O suportam Hot-Swap e têm bornes destacáveis, o que torna desnecessário fixar cada fio separadamente em caso de substituição. Basta desconectar o conjunto de bornes inteiro e conectá-lo ao novo módulo.

NX 3030
• Redundancy at all levels for high availability
• Hot-swapping for every module
• Variables Tracing recorded locally into the CPU
our network.
DUO

Francine Smialowski e Tiago Meirelles, Coordenador de Marketing de Produtos da Altus Sistema de Informática, única empresa brasileira na SPS/IPC/Drives 2011.

O sistema também é capaz de armazenar em cartões SD documentação em vários formatos, como PDF, Excel, Word e AutoCAD, tudo para facilitar na resolução de problemas inesperados.

Além disso, cada módulo têm uma tecla de diagnóstico que auxilia na busca por problemas como curto-circuitos nas saídas, e também de comunicação.

Mesmo com o pouco tempo de mercado, a linha Nexto já faz parte da vida dos brasileiros: é ela que controlará os processos nas dez primeiras plataformas para exploração do pré-sal construídas pela Petrobras.

Situada em São Leopoldo, no Rio Grande do Sul, a Altus conta com desenvolvimento e produção nacional, pré-requisitos importantes para a Petrobras, e já automatizou várias das plataformas de petróleo. A empresa está com grandes expectativas para as próximas licitações.

A Altus tem forte presença no mercado brasileiro e latino-americano, mas também atende o restante do mundo. A empresa está à procura de representantes e distribuidores em outros mercados, e está aberta a contatos de interessados.

Conector 8D da Souriau (38999 Série III), com porca rebitada

O conector com porca rebitada incorporada 8D, da Souriau, permite uma colocação simples de tomadas de alumínio em caixas de controle eletrônico. Oferecendo colocação mais rápida e número de acessórios reduzido.

É especialmente adequado para caixas com acesso difícil e que exijam manutenção, em um ambiente aeronáutico ou militar.

As tomadas quadradas são normalmente fixadas com parafusos e porcas, possivelmente com uma placa de apoio em alumínio anodizado colocada na traseira. A montagem desta forma pode revelar-se enfadonha quando o acesso é difícil, e poderá ser bastante demorada. O conector com porca rebitada integral permite, assim, acelerar os tempos de montagem, reduzindo, ao mesmo tempo, o número de acessórios de colocação necessários (parafusos, anilhas, etc). Este processo também pode reduzir o risco de acessórios não desejados serem esquecidos na caixa, caso caiam acidentalmente.

A Souriau conseguiu demonstrar que as suas porcas rebitadas M3 ou UNC4.40, quando equipadas com os flanges Série III, suportam um esforço axial de mais de 130 newtons. Os testes de resistência ao binário também demonstraram que a porca rebitada permanecerá na posição certa do flange mesmo quando é aplicado um binário de 1,5 N/m por meio de um parafuso sem fim.

O flange em níquel do conector, quando equipado com estas porcas rebitadas, pode suportar uma neblina salina de 48 horas, em conformidade com a norma MIL-DTL-38999 aplicável a este tipo de conector aeronáutico.

Este tipo de fixação está aprovado para nove tamanhos de alumínio da série III, o que significa que toda a nossa plataforma Série III pode ser utilizada (mais de 90 layouts disponíveis, atualmente).

Endress+Hauser lança instrumentos em Profibus PA Profile 3.02

Com a tecnologia Profibus PA Profile 3.02 é possível substituir dispositivos de campo sem a parada da planta para atualização de GSDs. O número de identificação do arquivo GSD é reconhecido e adaptado automaticamente na rede. Desta forma, a substituição de qualquer instrumento torna-se simples, rápida e segura, sendo necessário apenas o endereçamento do novo dispositivo, mesmo que este seja de outra versão ou fabricante. Segundo Alexandre Kutil, Gerente de Produtos de Nível da Endress+Hauser, "o Profile 3.02 está diretamente ligado à redução de custos de manutenção e ganhos de produção, pois evita paradas de planta."

A Endress+Hauser já tem disponível em sua linha de produtos, instrumentos em Profibus PA Profile 3.02 das novas linhas de medidores de Nível, Pressão e Temperatura e, em breve, também para produtos das linhas de Vazão e Analítica.

CerabarM PMC51 da Endress+Hauser.

JOMAFER
TECNOLOGIA EM CORTE
Processamento com segurança e precisão, corte de tubos de qualquer formato, serviços simples e complexos, utilizados em diversos setores industriais.
TUBOS: quadrados redondos retangulares e oval
Corte a Laser de Tubos
Tecnologia de ponta para soluções em:
Corte a Laser Chapas e Tubos
Corte a Jato d´água
Serviço de Estamparia em Puncionadeira
Perfis Especiais
Montagem Solda Mig e Tig
NOVA SEDE: Viela Urga, 770 - Guarulhos - SP
Tel: (11) 2489-2477
Fax: (11) 2480-3594
www.jomafer.com.br
jomafer@jomafer.com.br

Bosch Rexroth lança novos produtos

Desenvolvido para o mercado de automação, o IndraMotion for Handling é uma solução *turn key* para controle de sistemas cartesianos baseada em IEC 61131 e CLP Open, que permite o controle de até 3 eixos principais e 3 eixos de orientação por cinemática.

Para os fabricantes de máquinas, o equipamento propicia o rápido comissionamento com configuração simples e fácil detecção de erros, além de alta flexibilidade por ter uma plataforma ampla e ser um sistema aberto (*Open Source*). Por ser uma solução turn key e amplamente testada em todo o mundo, o equipamento gera economia em custos de desenvolvimento.

Já para os usuários finais, os benefícios são a interface de IHM pronta e testada, a definição de coordenadas através de Teach ou definição direta e a programação dos movimentos com instruções similares a robôs.

O IndraMotion for Handling contribui ainda na melhoria dos processos de produção no que diz respeito à redução do nível de ruído - quando utilizado em conjunto com os módulos lineares Rexroth - e na alta precisão no posicionamento.

Dentre suas aplicações pode-se destacar: sistemas de manipulação em processos automatizados (injetoras, logística, montagem), paletizadores, sistemas Pick and Place, automação em laboratórios e *retrofittings*.

A linha de comandos numéricos MTX da Bosch Rexroth, é composta por famílias de produtos que atendem a demanda desde máquinas Low-cost, até aplicações de alta performance com 64 eixos controlados pelo CN. O comando IndraMotion MTX Micro é compacto, simples e poderoso. O conjunto é constituído por uma interface IHM personalizada e um controlador compacto multieixo com alta capacidade de controle do CNC e PLC, o que reduz o espaço utilizado no painel elétrico, bem como organiza o cabeamento dos eixos da máquina.

O comando IndraMotion MTX Micro foi desenvolvido inicialmente para aplicações em tornos e fresadoras padronizadas, podendo ser utilizado tanto na reforma destes tipos de máquinas, quanto em máquinas seriadas. Seu uso é específico para o mercado de máquinas-ferramenta com aplicações de até 6 eixos controlados.

Com o intuito de possibilitar ao cliente um controle produtivo e qualitativo no processo de aperto, a Rexroth desenvolveu a parafusadeira 350 IL.

Equipamento de uso industrial para controle de torque, ângulo, Yield Point, que garante a qualidade do produto final e um melhor custo-beneficio dos processos de parafusamento.

O produto foi desenvolvido para o mercado automotivo e autopeças e também pode ser aplicado em todos os processos onde o controle de torque se faça necessário.

Parafusadeira 350 IL, com controlador do tipo CLP.

O principal diferencial da parafusadeira 350 IL é a inclusão de um controlador tipo CLP que permite ao usuário efetuar pequenas automações industriais e dispensar a utilização de controladores externos, economizando assim custos e espaço nos painéis elétricos.

O Servoacionamento digital IndraDrive C da Rexroth dispõe de um controlador lógico integrado (CLP), segurança embarcada e possui em sua família de produtos servomotores à prova de explosão, que oferecem precisão de até 0,3 arco minuto e encoder multivolta absoluto. É ideal para as mais diversas aplicações, inclusive as que requerem alta dinâmica, como: máquinas-ferramenta, máquinas de embalagem, linhas de montagem, bancadas de teste e máquinas especiais.

Os equipamentos da família IndraDrive são compatíveis com as redes de comunicação como ProfiBus, CanOpen, DeviceNet, Ethernet/IP, EtherCat, Sercos III e são aplicáveis em sistemas de automação de até 120 kw, 13000 Nm e 30000 rpm.

Informações adicionais, acesse: www.boschrexroth.com.br

Dakol lança o GSM1: controle inteligente direto do celular

Controlador não gera custo de ligação e realiza comandos automaticamente

O máximo de conforto com o mínimo de custo. Essa é a inovação oferecida pela Dakol com o lançamento do GSM1, módulo GSM/GPRS. O controlador, destinado a automação predial e residencial, identifica o número chamado e realiza as ações automaticamente, ou seja, a ligação não precisa ser atendida para que os comandos sejam realizados.

A tecnologia GSM já oferece a transmissão de controle remoto a partir do telefone celular para acionamento de saídas digitais como válvulas, portões, alarmes, entre outros. Do mesmo modo opera o GSM1, com o diferencial de não gerar custos de ligações quando o comando é acionado.

Com antena integrada, o dispositivo faz conexão com o CLP da linha Cybro e também *stand-alone*. Para ambos é possível a configuração remota pelo telefone celular. O GSM1 possui quatro entradas digitais/analógicas e saída a relé, sendo a alimentação de 24 VDC. Ainda apresenta compartimento para o cartão SIM, que armazena dados, voz e mensagens de textos.

O controlador GSM1 identifica o número chamado e realiza as ações automaticamente.

Osciloscópio Digital
TDS2001C
Tektronix®
De R$ 2.600,00
Por R$ 2.050,00
10 ANOS Tektronix GARANTIA
largura de banda | taxa de amostragem | comprimento de registro | canais
50 MHz | 500 MS/s | 2.5 K | 2
Mosaico
Tel: (11) 4992-8775
www.mosaico.com.br
Engenharia Produtos Capacitação Social
*Promoção válida até 30 de dezembro de 2011 ou o término do estoque.

Analisadores de Espectro

Entenda a importância desse instrumento na Automação Industrial

Neste artigo trataremos da estrutura do instrumento clássico utilizado para análise de sinais em RF: o analisador de espectro. Lembramos ao leitor que o "foco" aqui é explorar os sistemas de radiofrequência aplicados à indústria

Alexandre Capelli

Série de Fourier

Sabemos que a análise espectral é tão importante quanto a análise de sinais no domínio do tempo, pois um sinal puro pode gerar infinitas harmônicas. Dependendo da amplitude e da ordem dessas harmônicas, elas podem se sobrepor ao sinal fundamental, distorcendo sua forma de onda (**figura 1**). Abaixo, nesta mesma figura, temos um pequeno comparativo da natureza do sinal em relação a faixa de frequência que suas harmônicas podem atingir.

Os domínios do tempo e da freqüência podem ser relacionados entre si através da "transformada de Fourier". A **equação dessa transformada**, embora complicada a primeira vista calcula, fisicamente, o espectro das frequências de um sinal através de uma análise contínua e infinita no tempo. Fica claro que isso é impossível em tempo real.

$$x_f = F\{x(t)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot e^{-j.2.\pi.f.t}\, dt$$

O que acontece na prática, entretanto, é a análise do sinal através do processamento digital de amostras.

Por meio de uma certa quantidade de amostras (leituras em um determinado intervalo de tempo), podemos ter uma boa aproximação do sinal real. O único cuidado a ser tomado é o que chamamos de "lei de Shannon". Ela diz que para obtermos uma boa precisão de leitura, a frequência da amostragem (*sampling frequency "fs"*) deve ser, no mínimo,

saiba mais

Analisadores Lógicos
Saber Eletrônica 427

Analisadores de Espectro
Saber Eletrônica 334

Analisadores Industriais
Mecatrônica Atual 9

duas vezes maior que a frequência do sinal de entrada (ßin) (sinal sob análise).

A **figura 2** mostra um exemplo da combinação das frequências de amostragem e de sinal.

E como fazer essas análises, afinal?

Concretizar os cálculos mostrados acima e transformá-los em medidas que possam ser utilizadas em uma tela são funções do analisador de espectro. Podemos encontrar dois tipos de analisadores: FFT e heteródino.

Analisador de espectro FFT

A "grosso modo" podemos dizer que a diferença entre o analisador tipo FFT (*Fast Fourier Transform*) e o heteródino é a faixa de frequências em que cada um pode operar. O FFT é destinado para baixas frequências (ordem de 1000 kHz) e o heteródino para altas (e extra-altas) frequências (vários GHz).

A **figura 3** apresenta o diagrama de blocos de um analisador de espectro tipo FFT. A primeira etapa é um filtro "passa-baixas", que limita a frequência do sinal de entrada. Após a filtragem, o sinal é enviado a um conversor analógico/digital e, por ser de natureza transitória, é, então, armazenado temporariamente no bloco de memória RAM.

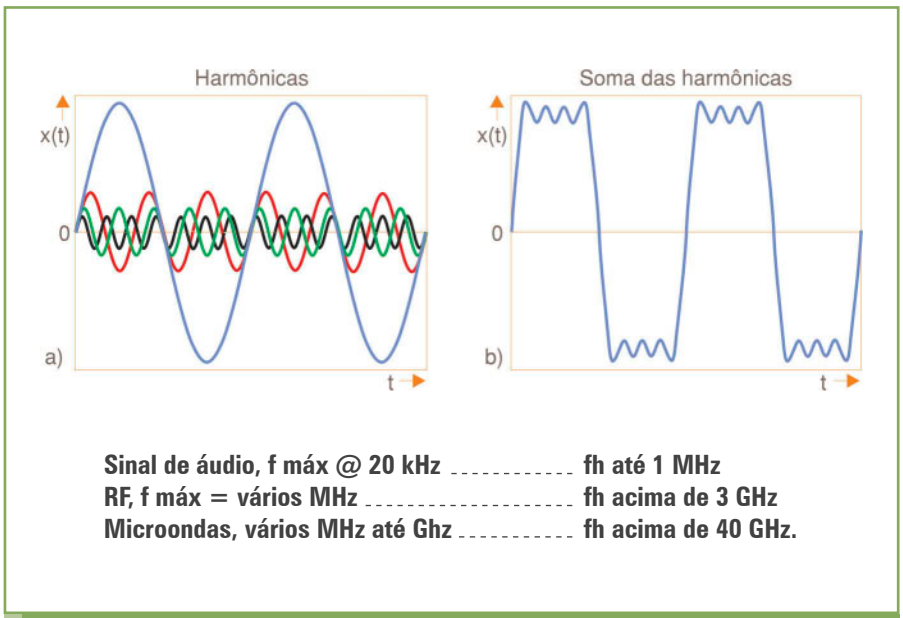
O quarto bloco do instrumento é composto pelos circuitos de processamento, cujo software possui um algoritmo de cálculo de acordo com a equação citada anteriormente para determinação da série de Fourier. Esse bloco, segundo as taxas de amostragem, resgata os dados armazenados na RAM e, após os cálculos da FFT, mostra através de um diagrama de barras, as respectivas amplitudes das frequências harmônicas de um sinal em uma tela.

Analisador heteródino

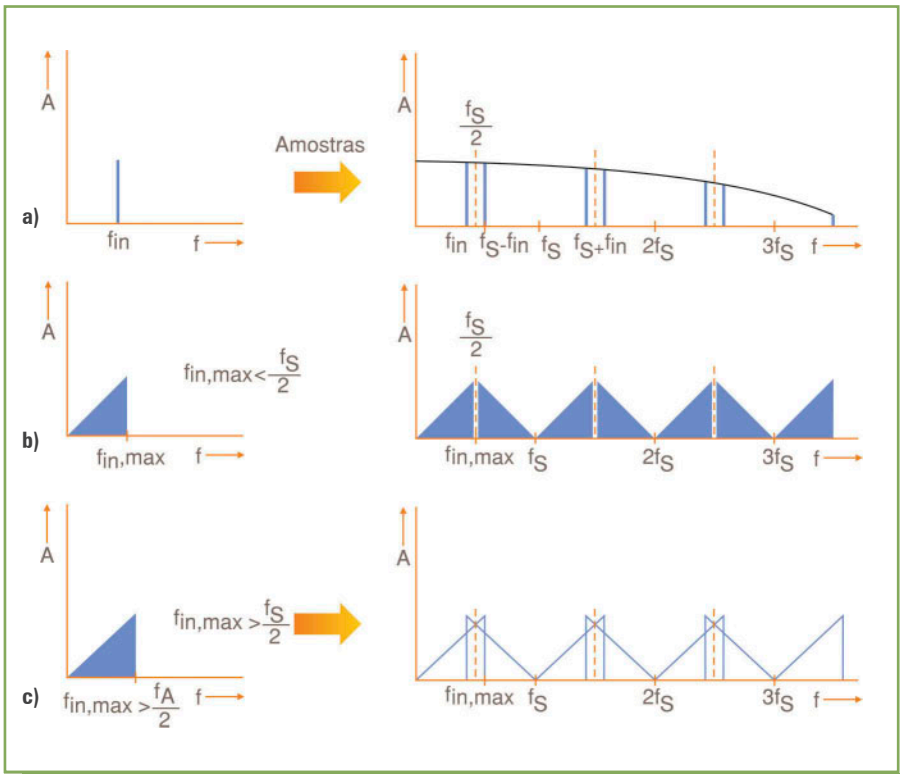
O analisador de espectro heteródino, como o próprio nome sugere, tem sua estrutura de funcionamento muito similar à do receptor de rádio tipo heteródino.

A **figura 4** ilustra seu diagrama de blocos. Notem que, por funcionar em altíssimas frequências, não há um filtro para o sinal de entrada. O sinal é combinado com outro, gerado internamente por um oscilador local, através de um circuito "mixer".

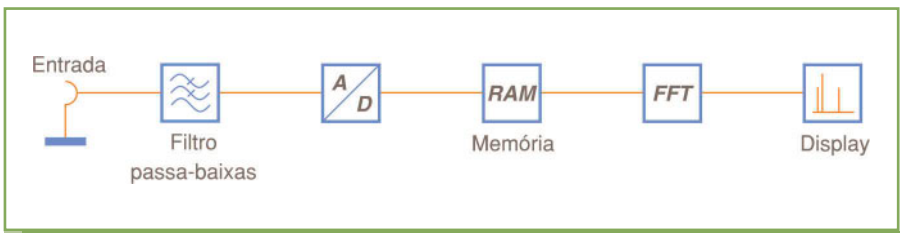
O sinal diferença entre ambos, assim como no receptor heteródino recebe o nome de frequência intermediária.


Harmônicas
Soma das harmônicas
x(t)
0
a)
b)
t
Sinal de áudio, f máx @ 20 kHz ..... fh até 1 MHz
RF, f máx = vários MHz ..... fh acima de 3 GHz
Microondas, vários MHz até Ghz ..... fh acima de 40 GHz.

F1. Sinal senoidal deformado pelas harmônicas e comparativo da natureza do sinal em relação à faixa de frequência (abaixo).



F2. a) f_{in} ; b) $f_{in,máx} < f_s/2$, amostragem e filtro; c) $f_{in,máx} > f_s/2$, ambiguidade.



F3. Diegrama de blocos de um analisador FFT.

A FI, então, passa por um filtro passa-faixa e, para que o sinal possa ser mostrado com máxima largura, ela é amplificada através de um amplificador logarítmico.

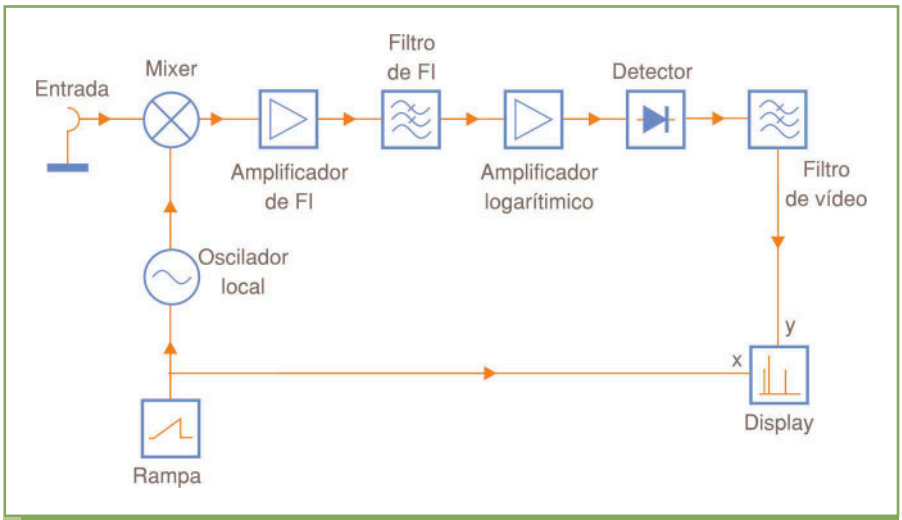
Até essa etapa o sinal ainda está modulado em RF. A próxima etapa exerce a função detectora, transformando o sinal de RF em um sinal de vídeo. Após o filtro passa-baixas, esse sinal é mostrado na tela, a qual pode ser do tipo LDC (cristal líquido) ou TRC (tubo de raios catódicos). Um circuito "gerador de campo" sincroniza o sinal detectado com as frequências de varredura da tela do instrumento.

Principais Parâmetros do Analisador de Espectro

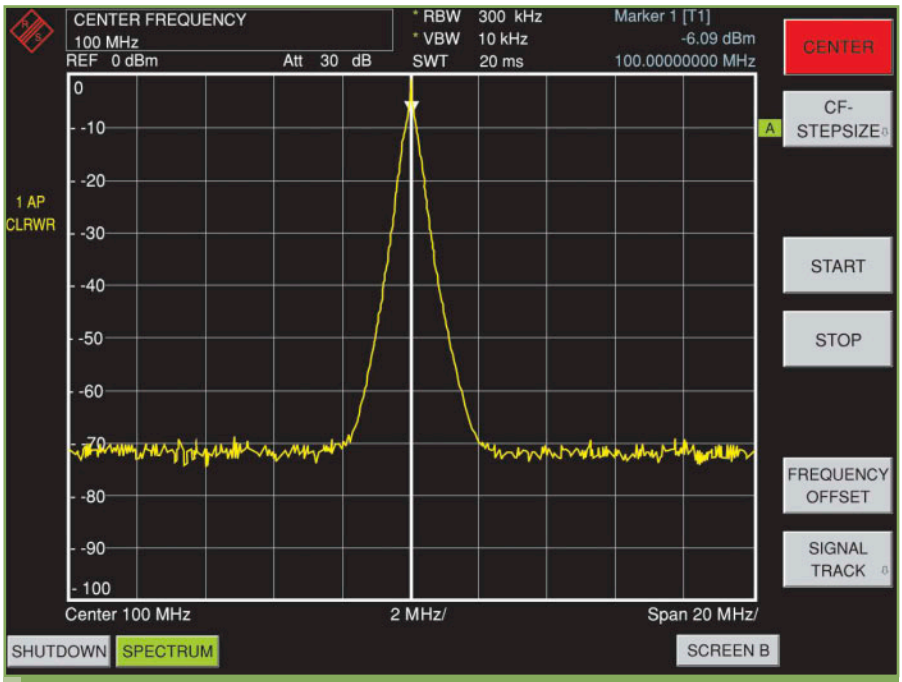
Os analisadores modernos possuem inúmeras funções (e controles), porém, as quatro principais são:

Faixa de frequência exibida na tela

Esse parâmetro (*frequency display range*) determina o "tamanho" da figura a ser mostrada na tela do analisador. A **figura 5** mostra um exemplo, onde podemos notar que o sinal ocupa, aproximadamente, sete divisões no eixo Y. Esse ajuste assemelha-se ao "volts/div" nos osciloscópios.



F4. Diagrama de blocos de um analisador heteródino.



F5. Exemplo da tela de um analisador.

Faixa de nível

Esse parâmetro determina os limites do sinal exibido. Ainda com base na **figura 5**, notamos que o exemplo mostra um "patamar" inferior de -100 dBm, e superior a 0 dBm.

Resolução da frequência

O ajuste da resolução de frequência é uma função do circuito de filtro da frequência intermediária (FI), e é análogo ao controle "tempo/div" nos osciloscópios.

"Sweep time"

Esse controle é específico para os analisadores de espectro operando em modo heteródino, e determina o tempo necessário para a gravação do espectro de frequências a ser estudado.

O Analisador de Espectro na Indústria

Como, onde, e por que utilizar o analisador de espectro?

É fato que a análise de espectro no domínio das frequências é mais comum no campo das telecomunicações, onde o estudo (e posterior ajuste) da frequência dos sinais transmitidos é fundamental para a boa performance do sistema. Contudo, recentemente, um novo modo de aplicação ganhou muita importância para o analisador de espectro: a automação industrial.

Não é raro o encontrarmos em empresas nacionais, fabricantes de equipamentos de automação, cujo faturamento é devido em grande parte a exportação. Uma exigência comum dos consumidores internacionais é a "compatibilidade eletromagnética".

A compatibilidade eletromagnética (EMC) é um conjunto de características que garantem que determinado equipamento não emite interferências eletromagnéticas (EMI) acima dos níveis permitidos pelos órgãos internacionais competentes. A EMC passou a ser um fator de qualidade do produto.

Ora, mas como um fabricante pode saber se seu produto está ou não dentro da compatibilidade?

Aí é que entra a utilidade do analisador de espectro. Esse instrumento é capaz de avaliar o nível de emissão eletromagnética e, o mais importante, determinando qual (ou quais) sua(s) faixa(s) de frequência(s).

De posse dessa informação, a engenharia pode projetar filtros e adequar as técnicas

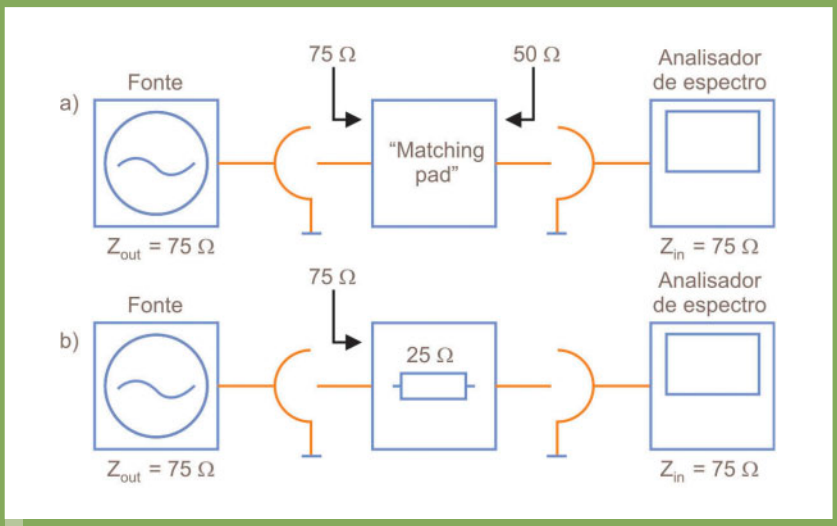


Diagrama de blocos das opções de ligação do Analisador de Espectros.

Opções de ligação do Analisador

Semelhante à maioria dos instrumentos utilizados em telecomunicações, o analisador de espectro tem sua entrada de RF com uma impedância de 50 Ω. Algumas medidas, entretanto, exigem impedâncias de 75 Ω (circuitos de CATV, por exemplo).

Diversos modelos de analisadores possuem entrada extra de 75 Ω para essa finalidade, porém, caso ela não esteja disponível, é possível fazer o casamento das impedâncias através de um pequeno transformador. Esse dispositivo é conhecido como "matching pad" (Diagrama a).

Ainda sim, no caso de nem ele estar disponível, um resistor de 25 Ω ligado em série com a entrada poderá fornecer bons resultados (Diagrama b).

construtivas do seu produto para que esse torne-se compatível.

Caso o fabricante não possua esse instrumento, ele será obrigado a recorrer a entidades de Consultoria externas a empresa, o que nem sempre é uma boa opção econômica. Claro que a compra de um analisador de espectro deve ser estudada em relação ao custo da sua ausência. Nem sempre a compra é a melhor opção.

Conclusão

Alguns analisadores de espectro podem operar em ambas as modalidades (FFT, e heteródino). Como o leitor deve ter percebido, no modo heteródino, o instrumento funciona como um receptor de rádio, sendo comuns modelos que disponibilizam uma saída de áudio onde podemos ligar um pequeno alto-falante. Caso façamos o ajuste da frequência entre 560 kHz e 1600 kHz, por exemplo, poderemos ouvir as estações de AM.

MA

Descargas Atmosféricas

Saiba como proteger seus equipamentos conhecendo melhor esse fenômeno

As chuvas de verão no Brasil costumam causar efeitos "trágicos" para os equipamentos eletrônicos através das descargas atmosféricas. Se uma TV queimada já é algo desagradável, imaginem como se sente o microempresário que teve um dos seus dois tornos equipados com CNC, literalmente "torrado" por um raio. Além de uma "salgada" fatura de reparo, 50% da sua produção estará comprometida por vários dias.

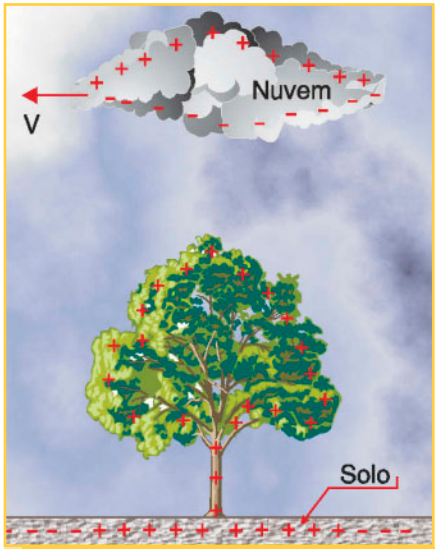
A intenção deste artigo é analisar a anatomia da descarga elétrica (raio), procurando "desmistificar" esse fenômeno, e propor algumas soluções para proteger seu patrimônio.

Alexandre Capelli

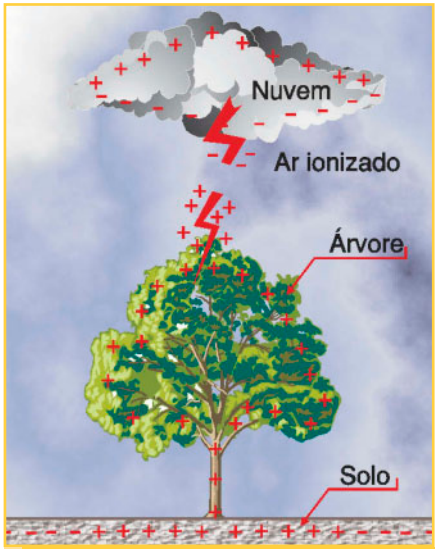
saiba mais

Proteção Contra Descargas Atmosféricas, Geraldo Kindermann

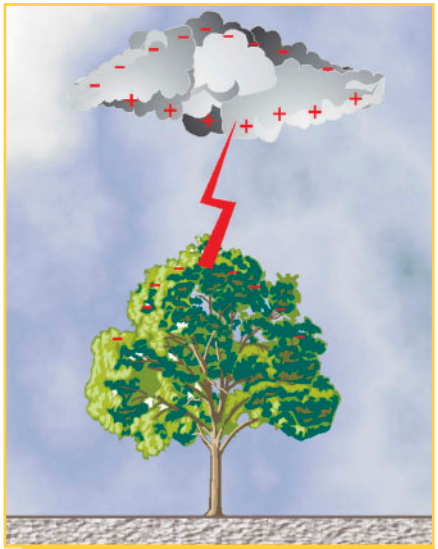
EMC e EMI: Compatibilidade e interferência eletromagnética
Mecatrônica Atual 8



F2. Indução de cargas positivas no solo

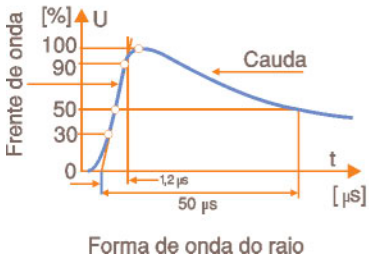


F3. Túneis Ionizados



F4. Nuvem em curto-circuito com a terra.

F1. Perfil de carga eletrostática em uma nuvem.



Corrente	2000 a 200 000 ampères
Tensão	Moderado100 a 1 000 000 kV
Duração	Médio70 a 200 µs
Carga elétrica da nuvem	Máximo20 a 50°C
Potência liberada	1 000 a 8 000 milhões de kw
Energia	4 a 10 kWh
Tempo de crista	1,2 µs
Tempo de meia cauda	50 µs
di/dt	5,5 kA/ µs

F5. Anatomia do raio.

Como ocorrem os raios

O raio é uma descarga elétrica que ocorre entre a nuvem e o solo, ou entre nuvens. A nuvem carrega-se em duas metades, a inferior com carga negativa e a superior com positiva (veja a **figura 1**). Através da indução, a área projetada pela nuvem sobre o solo (sombra) torna-se positiva (conforme mostra a **figura 2**).

Isso quer dizer que, embora a Terra seja uma grande "esfera" negativa, por indução a região abaixo da nuvem é positiva. Como a nuvem é arrastada pelo vento, a região de cargas positivas no solo acompanha a nuvem como se fosse sua sombra.

A diferença de potencial (tensão) formada entre a nuvem e o solo pode variar de 100 V a 1.000.000.000 V (1000 megavolts !). Uma vez que a rigidez dielétrica entre a nuvem e a terra seja vencida, o ar ioniza-se (baixa a resistência elétrica), criando assim um túnel ionizado de baixa resistência, que é o caminho por onde a descarga elétrica transita, observe a **figura 3**.

Anatomia do Raio

Um fato curioso sobre o raio é o modo como ele ocorre. Quando a rigidez dielétrica do ar é vencida, forma-se o que chamamos de "raio piloto".

O raio piloto é uma descarga que vai da nuvem para a terra, a uma velocidade aproximada de 1500 km/s. Então, como o ar está ionizado, a nuvem entra em curto-circuito com o solo. Uma vez em curto-circuito, a nuvem assume uma polaridade inversa, visto que a terra tem maior massa (**figura 4**). Com a polaridade invertida, uma segunda descarga acontece, porém, agora da terra (solo) para a nuvem.

Resumindo, o raio ocorre em duas etapas: primeira descarga (nuvem para a terra) e segunda descarga (terra para nuvem).

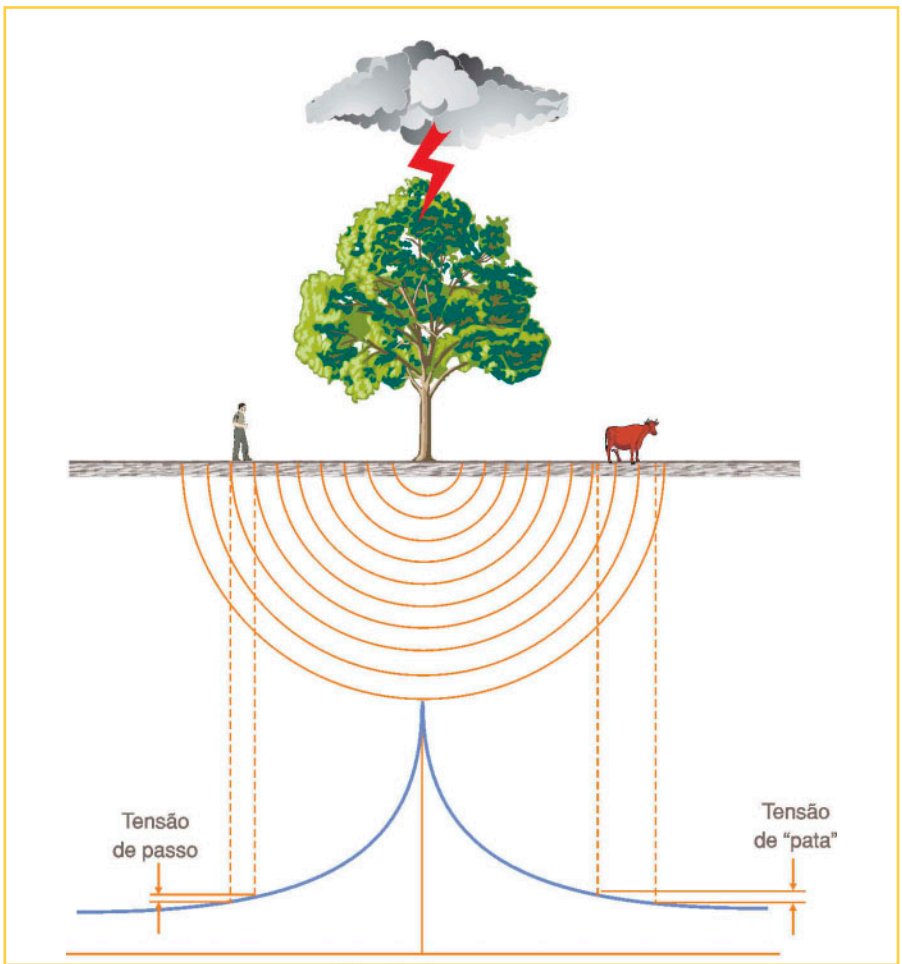
A descarga de retorno é mais rápida que a primeira e propaga-se com uma velocidade aproximada de 30 000 km/seg, e pode atingir mais de 1.000.000 ampères.

Como veremos mais adiante, o fenômeno é tão rápido que não podemos perceber visualmente quando termina uma descarga e começa a outra, o que nos causa a impressão de existir apenas uma delas.

Vale a pena lembrar que quando falamos no sentido de propagação do raio, analisamos o sentido real da corrente elétrica, que é do polo negativo para o positivo.

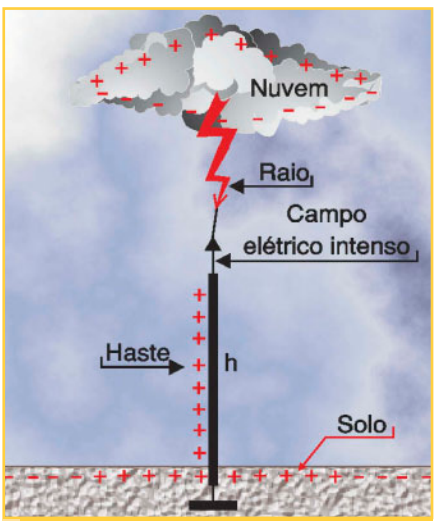
Quando falamos que a corrente circula do polo positivo para o negativo, estamos nos referindo ao sentido convencional, que não se aplica aos raios.

A **figura 5** ilustra a forma de onda de um raio. O intervalo destacado como "frente de onda" é o responsável pela ação fulminante do raio, pois além de ocorrer muito rapidamente, o fenômeno atinge seu valor máximo. Até a extinção completa do raio (término da cauda) teremos aproximadamente 200 µs, que corresponde à duração do raio. Apenas como comparativo, uma piscada do olho humano dura em média 100 ms, portanto, quando damos uma única piscada, há tempo suficiente para a ocorrência de 500 raios: 1 piscada = 100m/s / 200 µs = 500 raios.



F7. Tensão de Passo.

F6. Descargas laterais.



F8. Haste de Franklin.

Nível de Proteção	Caracterização	Eficiência
IV	Normal	80 %
III	Moderado	90 %
II	Médio	95 %
I	Máximo	98 %

T1. Proteção contra Descarga Atmosférica.

Efeitos do Raio

Vamos classificar os efeitos dos raios em duas categorias: sobre os seres vivos, e sobre os equipamentos eletrônicos. Ainda neste artigo, também faremos uma análise sobre estruturas e linhas de transmissão de energia.

Efeito do raio sobre os seres vivos

A descarga elétrica de um raio pode atingir um ser vivo de três formas: diretamente, lateralmente, ou induzida pelo solo.

A probabilidade de sermos atingidos por um raio é pequena, porém, caso uma pessoa ou animal seja atingido diretamente por um raio, a morte é quase certa. O efeito é semelhante a colocar esse organismo dentro de um forno de microondas, isto é, a vítima sofrerá danos nos seus órgãos internos além das severas queimaduras na pele.

A descarga, entretanto, poderá ocorrer pela via lateral.

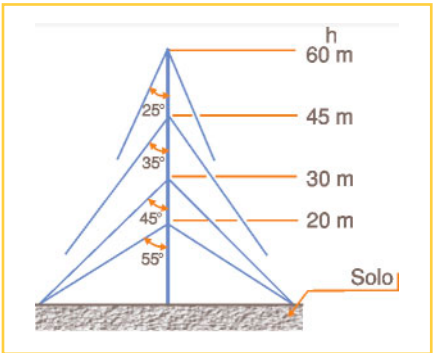
A **figura 6** mostra um exemplo onde podemos notar que o indivíduo localizado próximo a uma árvore não sofre toda a descarga, mas apenas uma parcela dela. As chances de sobrevivência nesse caso são maiores, porém, a pessoa poderá sofrer sequelas (paralisia muscular, queimaduras, perda de memória, problemas neurológicos, etc.).

A tensão de passo é a tensão induzida no solo, a partir da descarga. Quando um raio atinge o solo, as ondas de tensão propagam-se radialmente, como quando jogamos uma pedra verticalmente sobre um lago parado. As ondas deslocam-se-o centro para a periferia. A **figura 7** indica como a descarga pode ocorrer, visto que entre uma onda e outra temos uma diferença de potencial. Quanto mais distante uma onda da outra, maior a ddp. Por essa razão o gado tem uma probabilidade de morte maior que o ser humano, visto que a distância entre suas patas é maior que o passo humano.

Efeito do raio sobre os equipamentos eletrônicos

Os efeitos do raio sobre equipamentos e placas eletrônicas são, na maioria das vezes, catastróficos. Ao contrário da ESD *(Eletrostatic Discharge*, ou descarga eletrostática) que danifica a placa apenas eletricamente, o raio costuma danificar também mecanicamente.

Trilhas da PCI (placa de circuito impresso) destruídas, "buracos" na placa, incêndio,



F9. Ângulos e alturas máximas para o nível de proteção IV.

destruição total de componentes (explosão do encapsulamento) são apenas alguns dos exemplos de danos que o raio pode causar.

Mas o que fazer para proteger os equipamentos eletrônicos contra um raio?

O primeiro conceito importante que o engenheiro de campo ou desenvolvimento deve saber é que não existe uma proteção 100% segura. O que fazemos é diminuir os riscos de danos aos equipamentos e instalações através de dispositivos de proteção. Mas, garantir que nenhum sistema irá queimar na ocorrência de um raio é impossível.

Proteções Contra Descargas Atmosféricas

Para efeito de análise vamos dividir as proteções em duas categorias: externas à planta (imóvel) e internas.

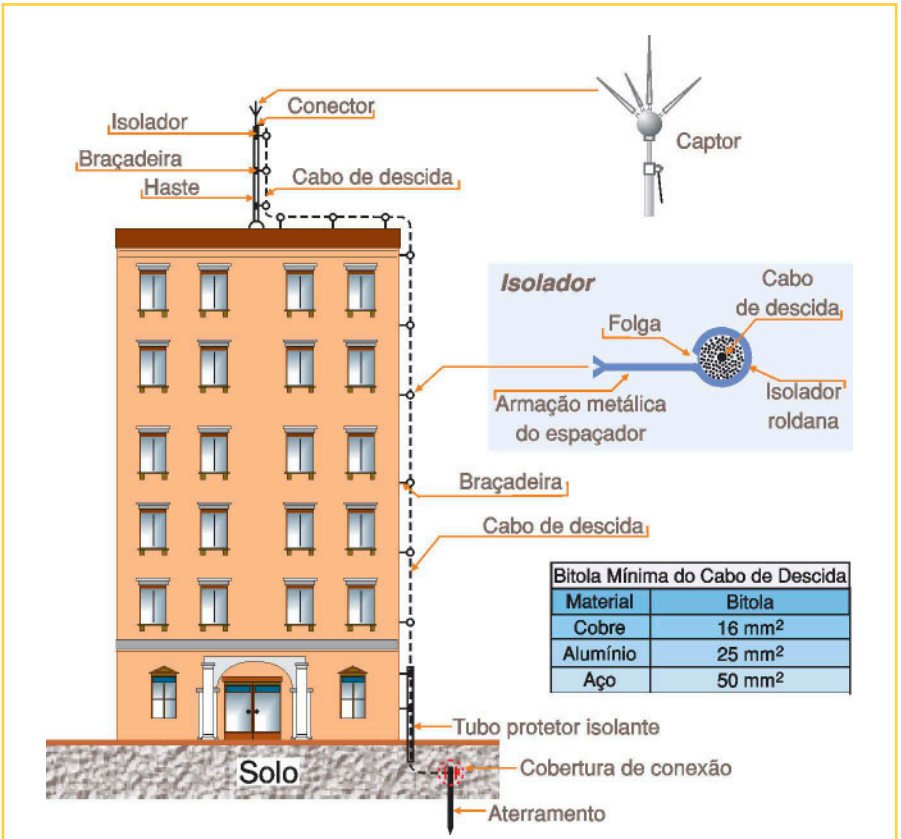
Proteções externas à planta

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) tem uma norma específica para "proteção de estruturas contra descargas atmosféricas", a NBR-5419. A norma internacional (*Protection of Structures Against Lighting*) é a IEC 1024. A **tabela 1** é o resultado empírico de estudos realizados das várias normas, e define o nível de proteção. Quanto maior é o nível, tanto maior é a quantidade de elementos e recursos utilizados na instalação.

Neste artigo faremos a análise de dois dispositivos de proteção externos à planta: pára-raios de Franklin e a gaiola de Faraday.

Pára - raios de Franklin

Essa técnica foi proposta por Franklin e seu princípio de funcionamento é o de criar uma alta concentração de cargas elétricas



F10. Prédio com pára-raios Franklin.

Grau de proteção adotado	Ângulos de Proteção — Altura Máxima (h) da Ponta da Haste ao Solo [m]			
	≤ 20	20 < h < 30	30 < h < 45	45 < h < 60
IV	55°	45°	35°	25°
III	45°	35°	25°	*
II	35°	25°	*	*
I	25°	*	*	*

T2. Ângulos de proteção.

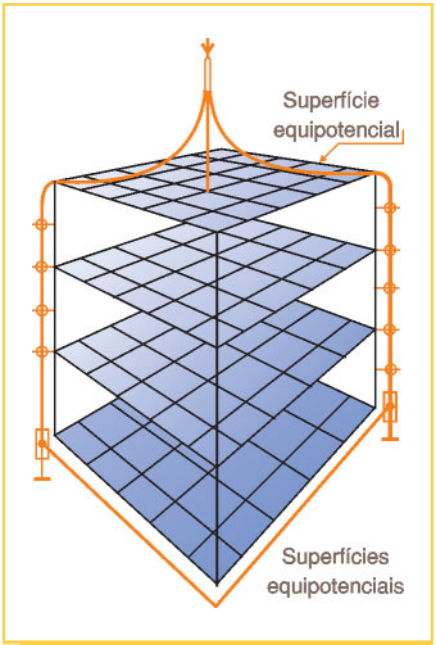
que, juntamente com um campo elétrico intenso, produz a ionização do ar.

Com o rompimento da rigidez dielétrica do ar, o raio surge entre a nuvem e a haste de altura h aterrada ao solo (vide **figura 8**). O que acabamos de descrever chama-se "teoria das pontas", que explica porquê as descargas elétricas ocorrem sempre pelas pontas dos condutores.

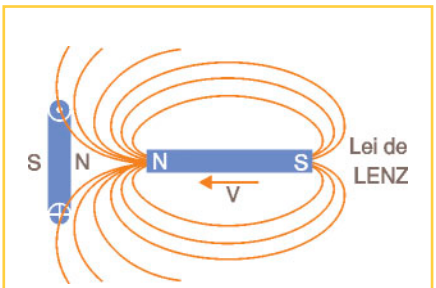
A **figura 9** mostra as alturas máximas em função dos seus respectivos ângulos, para um sistema de proteção grau IV (vide **tabela 2**).

A **figura 10** apresenta um prédio protegido pelo pára-raios de Franklin, onde podemos notar seus diversos elementos constituintes. É bom lembrar que o terra deve estar dentro das normas de pára-raios, pois, caso ele esteja inadequado (resistência acima da especificada pela NBR 5419) poderemos ter sérios problemas quando um raio ocorrer. As tensões induzidas no solo, por exemplo, podem levar uma pessoa (localizada próxima ao pára-raios) à morte. Portanto, é melhor não instalar um pára-raios, do que fazê-lo de modo incorreto.

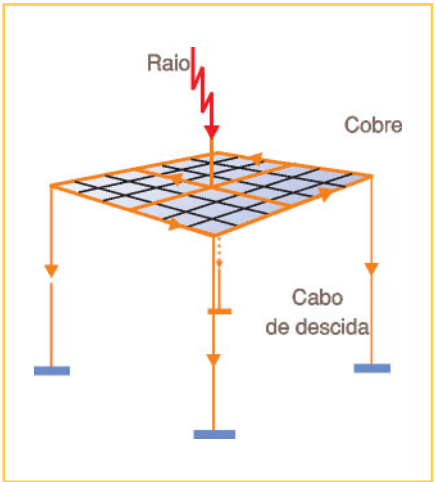
Um dos pontos importantes a ser observado na instalação do pára-raios é o cabo de equalização. A **figura 11** ilustra como dois cabos descem de um mesmo



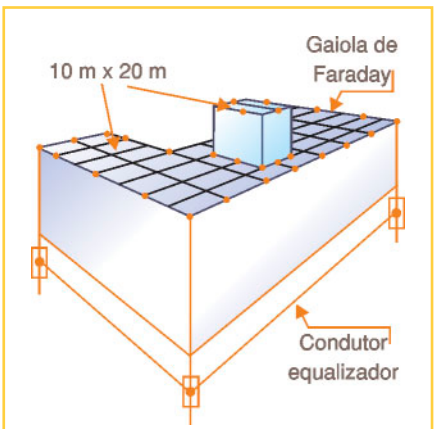
F11. Superfícies Equipotenciais.



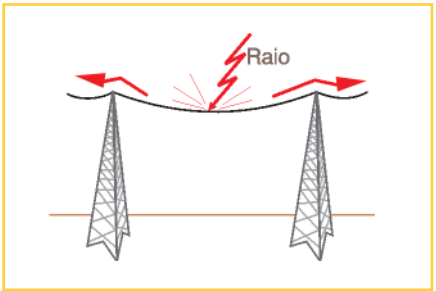
F12. Lei de Lenz.



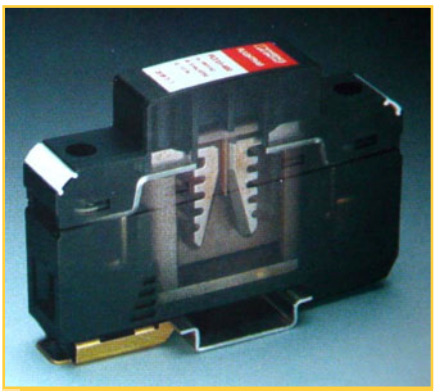
F13. Condução do raio para o cabo de descida.



F14. Imóvel com Gaiola de Faraday.



F15. Raio no vão de uma linha de transmissão.



F16. Centelhador da Phoenix Contact (aberto).

pára-raios. Notem que entre os andares do prédio existem malhas de aterramento, e na base ambos os cabos são conectados. Essa técnica impede que tensões apareçam devido as diferentes resistividades de cada cabo. A malha por sua vez, serve como uma gaiola de Faraday, que será analisada a seguir. Antes de projetar ou instalar um pára-raios, é vital consultar a norma NBR 5419. Somente assim pode-se garantir segurança ao cliente.

Gaiola de Faraday

Antes de falarmos sobre a Gaiola de Faraday, vamos relembrar um importante conceito da eletricidade: A lei de Lenz. Ela diz: "*qualquer sistema condutor em anel tende a reagir às variações de campos magnéticos. Essa reação se dá pela circulação da corrente induzida no anel que, por sua vez, cria um campo magnético contrário à variação do campo magnético indutor*".

Podemos visualizar a lei de Lenz na **figura 12**, onde notamos que o campo magnético formado por um ímã induz uma corrente na espira próxima a ele. Aliás, esse é o princípio de funcionamento de motores e geradores.

Michael Faraday, cientista que viveu no século XIX, utilizou o princípio de Lenz para desenvolver uma proteção contra descargas atmosféricas: a Gaiola de Faraday.

Esse dispositivo nada mais é do que um cubo feito de "tela" de fio condutor (arame, por exemplo). Quando um raio cai sobre a tela, cada "quadrícula" da malha metálica funciona como uma espira de bobina. A reação ao raio torna o campo eletromagnético dentro da gaiola nulo, desviando para a terra a corrente gerada (**figura 13**).

Dizem os historiadores que, quando Faraday revelou sua descoberta à comunidade científica da época, seus colegas zombaram da sua teoria. Michael Faraday acabara de se tornar pai de um saudável bebê. Para provar suas convicções, ele pegou seu filho e, cobrindo-lhe os olhos com um pano escuro, colocou-o dentro de uma gaiola de malha metálica. Diante das autoridades científicas, Michael Faraday ligou um auto transformador, cujo secundário estava próximo a gaiola aterrada. Após elevar a tensão para milhares de volts, várias descargas (raios) atingiram a gaiola. Quando o transformador foi desligado, retirou seu filho ileso da gaiola, para espanto de todos.

Graças a essa experiência, seu dispositivo foi batizado de "Gaiola de Faraday".

Onde utilizamos a Gaiola de Faraday atualmente?

O princípio da Gaiola de Faraday funciona tanto para alta quanto para baixa tensão. Quando utilizamos um cabo blindado, por exemplo, estamos usando esse princípio. Pela mesma razão, os gabinetes de PCs são feitos de metal, mas, no que diz respeito a proteções de raios, a gaiola de Faraday é utilizada na estrutura da planta do imóvel, de modo a "blindá-lo" eletricamente.

A **figura 14** mostra um exemplo de um prédio, cujo teto é coberto por uma malha (rede) metálica. Notem que, para

equalização de potenciais, vários cabos descem para terra, e são unidos por um condutor equalizador. Lembrem-se que a gaiola de Faraday pode ser utilizada em conjunto com o pára-raios de Franklin, formando assim uma proteção eficiente. Desse modo, qualquer raio que caia sobre o prédio será desviado pelos cabos laterais, e absorvido pela terra.

Proteções Internas a planta

"Bem, uma vez que o imóvel esteja instalado dentro das normas técnicas de segurança podemos esquecer os problemas com raios, certo?" **Errado !**

Estar em conformidade com a NBR 5419 significa que as pessoas e equipamentos estão protegidos apenas caso o raio caia sobre o imóvel, porém, ele poderá cair na linha de transmissão de energia que alimenta as instalações.

Quando um raio cai sobre uma linha de transmissão, conforme vemos na **figura 15**, a sobretensão associada caminha em dois sentidos. Uma delas vai do receptor de energia (fábrica) para o gerador, e a outra do gerador para o receptor. Parte dessa sobretensão é absorvida pelo aterramento da torre de transmissão, porém, outra parte pode chegar ao consumidor. **É aí que está o perigo!**

Para evitar a queima de equipamentos eletrônicos internos à instalação existem vários tipos de protetores contra descargas atmosféricas (sobretensões) na linha de alimentação CA em indústrias. Porém, vamos classificá-los em dois grupos: centelhadores, e varistores.

I Centelhadores

O funcionamento do centelhador é bastante simples de entender. A técnica é facilitar a ionização do ar em um ambiente controlado.

A **figura 16** traz um centelhador da Phoenix Contact em corte. Notem que temos dois eletrodos isolados, porém, com uma geometria que facilita a formação do arco voltaico na presença da sobretensão.

Dessa forma, a energia que "passaria" para os equipamentos dentro do imóvel, é dissipada na forma de calor dentro do centelhador.

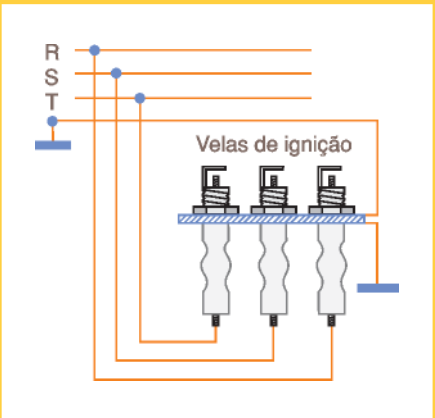
A **figura 17** ilustra as seis principais etapas da extinção do arco dentro do centelhador.

Dicas Práticas em Campo

A seguir vamos apresentar duas "dicas" que podem ser úteis ao técnico de campo, no que se refere a proteção de descargas atmosféricas:

1º dica: Improvisando um centelhador

Imagine que você se encontra em um local distante de qualquer centro comercial, e há necessidade de proteger (imediatamente) a planta do seu cliente contra descargas atmosféricas. O que fazer na ausência do centelhador?
A figura abaixo mostra como podemos improvisar um centelhador, no caso três, pois o exemplo refere-se a uma rede trifásica, com velas de ignição de motores a explosão.

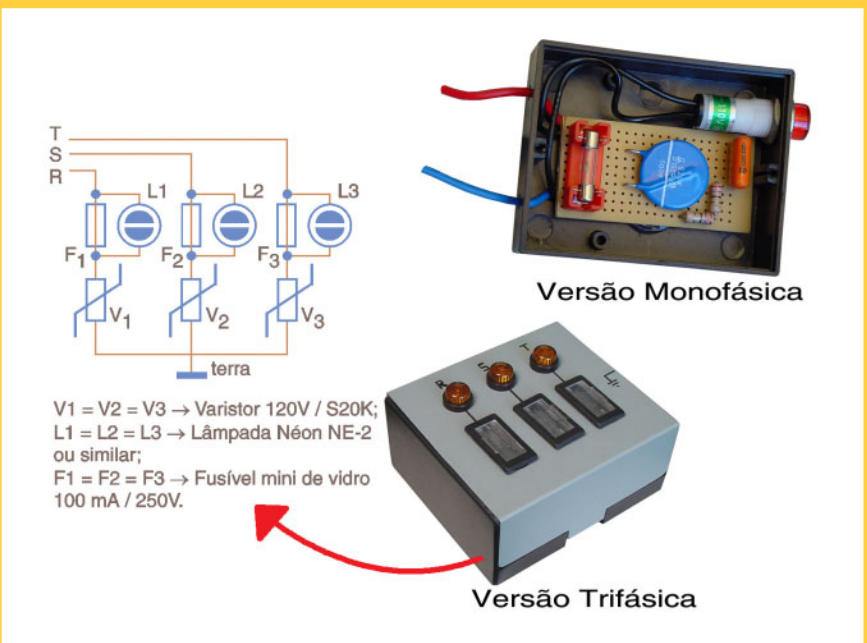


FA. Improvisação de um centelhador.

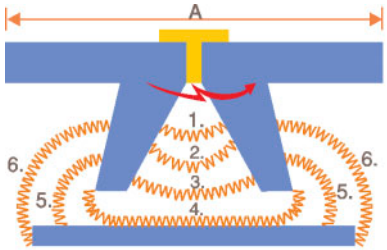
O princípio de funcionamento é o mesmo do centelhador, ou seja, quando uma sobretensão aparecer, o eletrodo da vela ionizará o ar, e desviará a energia para terra. Devemos apenas ter o cuidado de informar ao cliente que essa técnica é provisória, pois a "vela" não foi concebida para essa função, portanto, sua eficácia é menor que a de um centelhador (especialmente projetado para isso).

2º dica: Registrador de sobretensão

A maioria dos técnicos de campo já deve ter passado a experiência de encontrar placas eletrônicas queimadas por descargas atmosféricas. Caso o fenômeno não fique evidente (placa torrada), muitas vezes, o cliente não acredita que o dano foi causado por um raio. É nessa hora que começam as eternas discussões sobre os termos de garantia. O circuito abaixo é um "dedo-duro" de sobretensões. O princípio de funcionamento é simples. Quando uma sobretensão ocorre, o varistor assume valores ôhmicos extremamente baixos, o que provoca a queima do fusível.
Imediatamente, a lâmpada néon ioniza-se, indicando que ocorreu uma sobretensão naquela (s) fase (s). Mesmo após desligada a alimentação, o fenômeno fica registrado pela queima do fusível.
Está aí o "álibi" que você precisa para convencer o cliente.
O circuito pode ser mono ou trifásico.

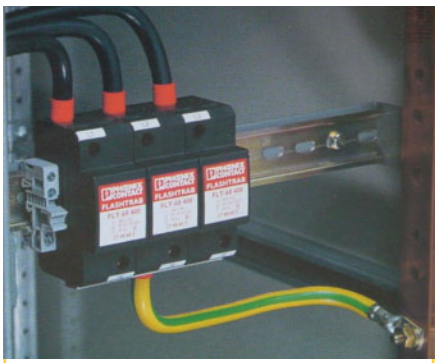


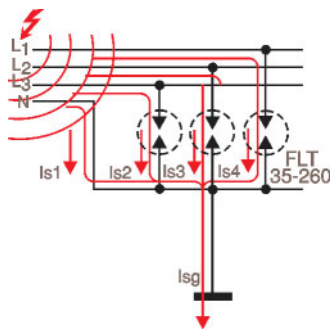
FB. Circuitos "dedo-duro" de sobretensão.



Princípio de funcionamento FLT 60-400
A) Pulso de tensão para disparo
1 - Ignição através de sobretensão
2 - O arco caminha através dos eletrodos
3 - Arco é empurrado para o exterior
4 - Arco é arremessado contra a placa de choque
5 - Formação de arcos parciais
6 - Interrupção e extinção de arcos parciais

F17. "Tempos" de extinção do arco voltaico em um centelhador.

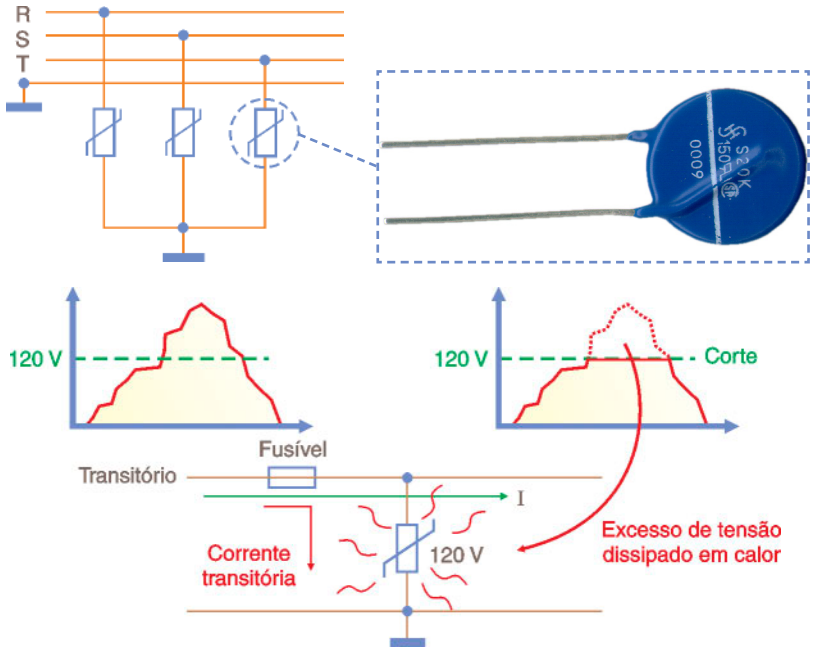




F18. Ligação de Centelhados em rede 3ϕ.

A **figura 18** apresenta o esquema de ligação de 3 centelhadores ligados em uma rede trifásica, bem como um exemplo de instalação em um painel de baixa tensão.

Podemos observar que, quando o ar dentro do centelhador se ioniza (baixa a resistência elétrica) a descarga é desviada para terra, impedindo que o transitório danifique os equipamentos ligados na linha de alimentação. É como se tivéssemos um curto-circuito instantâneo ocorrendo no exato momento da sobretensão.



F19. Varistores ligados em uma rede trifásica.

II Varistores

O varistor é outro componente utilizado na eliminação de sobretensões geradas por raios. O varistor, também conhecido por MOV (*Metal Oxide Varistor*), é um componente não linear, pois a (curva tensão corrente) não obedece a lei de Ohm. Na verdade, o varistor tem uma tensão nominal de atuação. Enquanto a tensão aplicada em seus terminais for igual ou menor que a nominal do componente, seu estado é de alta resistência.

A **figura 19** mostra o símbolo, aparência e a dinâmica de funcionamento desse componente. Notem que, no momento em que a tensão ultrapassar (aproximadamente) 10% da nominal, o componente baixa a sua resistência para próximo de 0 ohm (curto-circuito). Dessa forma o "pico" de tensão é absorvido na forma de calor.

Mas, qual a proteção mais indicada: centelhador ou varistor?

A escolha de um ou outro componente depende de perfil do consumidor.

O que devemos ter em mente é que o varistor tem a vantagem de atuar em maior velocidade (proteção rápida), isto é, próximo a 20 µs. Porém, sua desvantagem em relação ao centelhador é que ele se degrada com o tempo. Quanto maior o número de descargas absorvidas pelo varistor, menor sua vida útil.

Isso quer dizer que haverá uma descarga "fatídica", onde o componente perderá sua funcionalidade. O centelhador, por outro lado, tem uma vida útil muito maior, porém, atua com menor velocidade (aproximadamente 350 µs).

O engenheiro de campo ou de desenvolvimento deve levar em conta os prós e contras de cada componente na hora da sua aplicação. Nada impede, entretanto, que utilizemos ambos simultaneamente em uma mesma instalação, pois teríamos alta velocidade agregada a uma boa durabilidade.

Conclusão

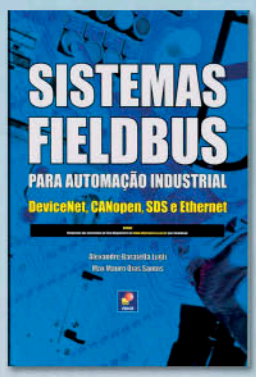
Esperamos ter proporcionado ao leitor uma visão geral sobre as técnicas de proteção contra descargas atmosféricas, através deste artigo.

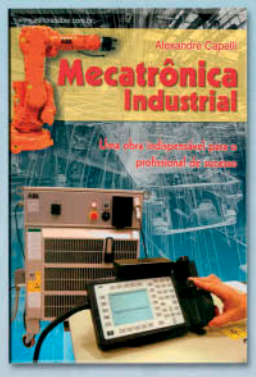
Lembre-se que não existe uma proteção 100% segura, porém, a aplicação correta das técnicas aqui exploradas diminui muito o risco de danos na ocorrência de raios.

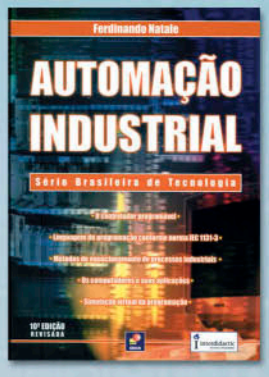
Como sempre faço, convido todos os leitores a enviarem suas críticas e sugestões a respeito deste, e de outros artigos da revista.

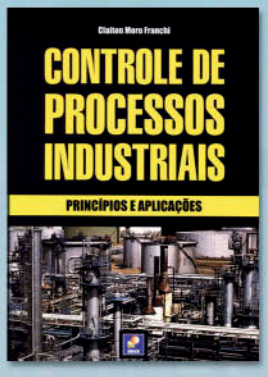
Sua opinião é fundamental para que possamos atender ainda mais suas necessidades. Até a próxima! **MA**

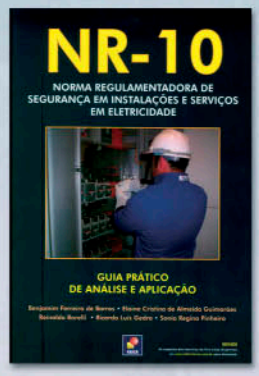
Ótimos livros por um excelente preço

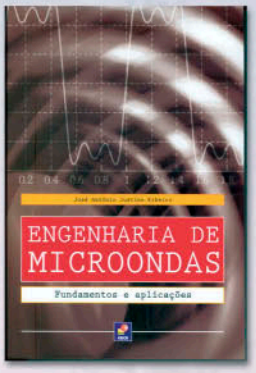


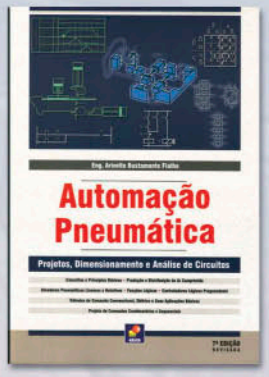


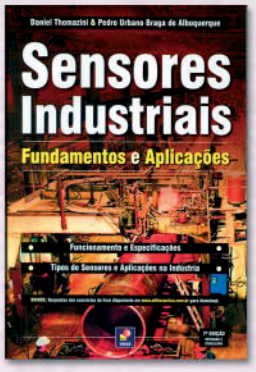




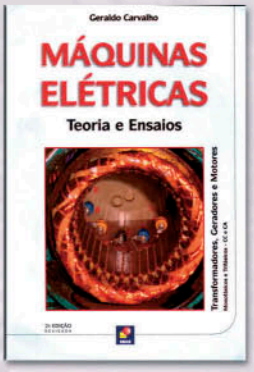

NR-10
NORMA REGULAMENTADORA DE SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE
GUIA PRÁTICO DE ANÁLISE E APLICAÇÃO

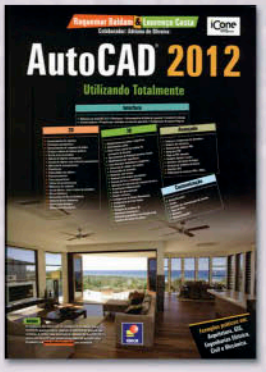


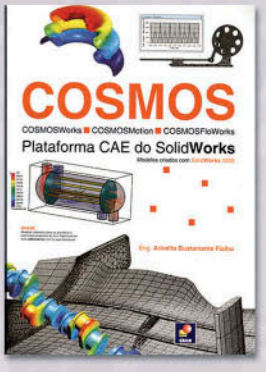




SolidWorks Premium 2009
Teoria e prática no desenvolvimento de produtos industriais
Plataforma para projetos CAD/CAE/CAM







novasaber
www.novasaber.com.br

Dicas de blindagem e aterramento em Automação Industrial

A convivência de equipamentos em diversas tecnologias diferentes somada à inadequação das instalações facilita a emissão de energia eletromagnética e, com isso, é comum que se tenha problemas de compatibilidade eletromagnética. Trazemos neste artigo algumas dicas para minimizar os problemas causados pela EMI (interferência eletromagnética).

César Cassiolato
Diretor de Marketing, Qualidade
e Engenharia de Projetos e Serviços
- Smar Equipamentos Industriais

A EMI é a energia que causa resposta indesejável a qualquer equipamento e que pode ser gerada por centelhamento nas escovas de motores, chaveamento de circuitos de potência, em acionamentos de cargas indutivas e resistivas, acionamentos de relés, chaves, disjuntores, lâmpadas fluorescentes, aquecedores, ignições automotivas, descargas atmosféricas e mesmo em descargas eletrostáticas entre pessoas e equipamentos, aparelhos de microondas, equipamentos de comunicação móvel, etc. Tudo isto pode provocar alterações causando sobretensão, subtensão, picos e transientes que em uma rede de comunicação podem ter seus impactos. Isto é muito comum nas indústrias e fábricas, onde a EMI é muito frequente em função do maior uso de máquinas (de soldas, por exemplo) e motores (CCMs) em redes digitais e de computadores próximas a essas áreas.

O maior problema causado pela EMI são as situações esporádicas e que degradam aos poucos os equipamentos e seus componentes. Os mais diversos problemas podem ser gerados pela EMI, por exemplo, em equipamentos eletrônicos podemos ter falhas na comunicação entre dispositivos de uma rede de equipamentos e/ou computadores, alarmes gerados sem explicação, atuação em relés que não seguem uma lógica e sem haver

saiba mais

Aterramento Elétrico
Saber Eletrônica 329

O uso de Canaletas Metálicas Minimizando as Correntes de Foucault em Instalações PROFIBUS
Mecatronica Atual 48

Protetor de Transientes em redes PROFIBUS
Mecatronica Atual 45

Aterramento, Blindagem, Ruídos e dicas de instalação – César Cassiolato

EMC for Systems and Installations - Part 2 – EMC techniques for installations, Eur Ing Keith Armstrong

Site de fabricante:
www.smar.com.br

www.system302.com.br

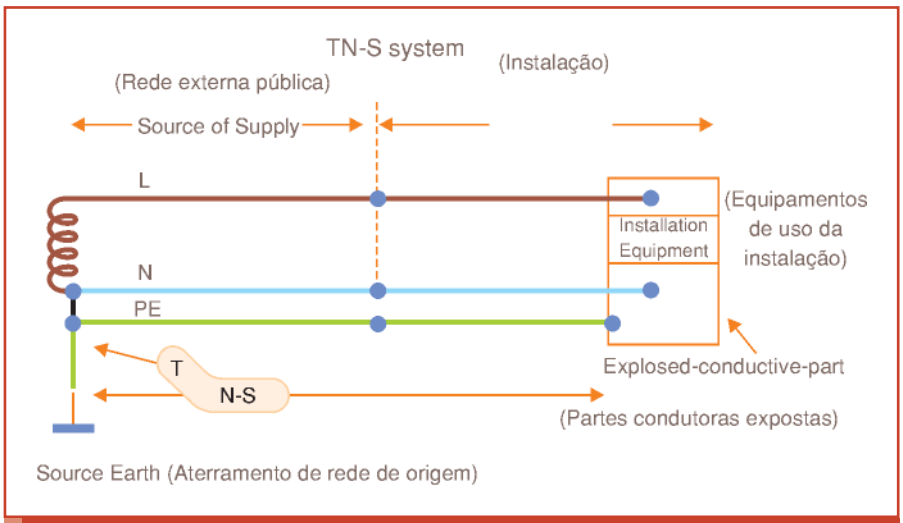
comando para isso, queima de componentes e circuitos eletrônicos, etc. É muito comum a presença de ruídos na alimentação pelo mau aterramento e blindagem, ou mesmo erro de projeto.

A topologia e a distribuição do cabeamento, os tipos de cabos e as técnicas de proteções, são fatores que devem ser considerados para a minimização dos efeitos da EMI. Lembrar que, em altas frequências, os cabos se comportam como um sistema de transmissão com linhas cruzadas e confusas, refletindo energia e espalhando-a de um circuito a outro. Mantenha em boas condições as conexões. Conectores inativos por muito tempo podem desenvolver resistência ou se tornarem detectores de RF.

Um exemplo típico de como a EMI pode afetar o comportamento de um componente eletrônico, é um capacitor que fique sujeito a um pico de tensão maior que sua tensão nominal especificada, com isto pode-se ter a degradação do dielétrico (a espessura do dielétrico é limitada pela tensão de operação do capacitor, que pode produzir um gradiente de potencial inferior à rigidez dielétrica do material), causando um mau funcionamento e em alguns casos a própria queima do capacitor. Ou ainda, podemos ter a alteração de correntes de polarização de transistores levando-os a saturação ou corte, ou dependendo da intensidade, à queima de componentes por efeito Joule.

Em medições:

- Não aja com negligência (omissão irresponsável), imprudência (ação irresponsável) ou imperícia (questões técnicas);
- Lembre-se: cada planta e sistema têm os seus detalhes de segurança. Informe-se deles antes de iniciar seu trabalho;
- Sempre que possível, consulte as regulamentações físicas, assim como as práticas de segurança de cada área;
- É necessário agir com segurança nas medições, evitando contatos com terminais e fiação, pois a alta tensão pode estar presente e causar choque elétrico;
- Para minimizar o risco de problemas potenciais relacionados à segurança, é preciso seguir as normas de segurança e de áreas classificadas locais aplicáveis que regulam a instalação e operação dos equipamentos. Estas normas variam de área para área e estão em constante atualização. É responsabilidade do usuário determinar quais normas devem ser seguidas em suas aplicações e garantir que a instalação de cada equipamento esteja de acordo com as mesmas;
- Uma instalação inadequada ou o uso de um equipamento em aplicações não recomendadas pode prejudicar a performance de um sistema e consequentemente a do processo, além de representar uma fonte de perigo e acidentes. Devido a isto, recomenda-se utilizar somente profissionais treinados e qualificados para instalação, operação e manutenção.



F1. Sistema TN-S.

Muitas vezes, a confiabilidade de um sistema de controle é colocada em risco devido às suas más instalações. Comumente, os usuários fazem vistas grossas e em análises mais criteriosas, descobre-se problemas com as instalações, envolvendo cabos e suas rotas e acondicionamentos, blindagens e aterramentos.

É de extrema importância que haja a conscientização de todos os envolvidos e mais do que isto, o comprometimento com a confiabilidade e segurança operacional e pessoal em uma planta.

Este artigo provê informações e dicas sobre aterramento e vale sempre a pena lembrar que as regulamentações locais, em caso de dúvida, prevalecem sempre.

Controlar o ruído em sistemas de automação é vital, porque ele pode se tornar um problema sério mesmo nos melhores instrumentos e hardware de aquisição de dados e atuação.

Qualquer ambiente industrial contém ruído elétrico em fontes, incluindo linhas de energia AC, sinais de rádio, máquinas e estações, etc.

Felizmente, dispositivos e técnicas simples, tais como a utilização de métodos de aterramento adequado, blindagem, fios trançados, os métodos média de sinais, filtros e amplificadores diferenciais podem controlar o ruído na maioria das medições.

Os inversores de frequências contêm circuitos de comutação que podem gerar interferência eletromagnética (EMI). Eles contêm amplificadores de alta energia de comutação que podem gerar EMI significativa nas frequências de 10 MHz a 300 MHz. Certamente, existe potencial de que este ruído de comutação possa gerar intermitências em equipamentos em suas proximidades. Enquanto a maioria dos fabricantes toma os devidos cuidados em termos de projetos para minimizar este efeito, a imunidade completa não é possível. Algumas técnicas então de *layout*, fiação, aterramento e blindagem contribuem significativamente nesta minimização.

A redução da EMI irá minimizar os custos iniciais e futuros problemas de funcionamento em qualquer sistema.

Objetivo de projeto e layouts

Um dos principais objetivos ao se projetar é manter todos os pontos comuns de retornos de sinal no mesmo potencial. Com a alta frequência no caso de inversores (até 300 MHz), harmônicas são geradas pelos amplificadores de comutação e nestas frequências, o sistema de terra se parece mais

com uma série de indutores e capacitores do que um caminho de baixa resistência. O uso de malhas e tranças ao invés de fios (fios curtos são melhores para altas frequências) que interligam nos pontos de aterramento têm uma eficiência maior neste caso.

Outro importante objetivo é minimizar o acoplamento magnético entre circuitos. Este é geralmente conseguido por separações mínimas e roteamento segregado dos cabos. O acoplamento por radiofrequência é minimizado com as devidas blindagens e técnicas de aterramento. Os transientes *(surges)* são minimizados com filtros de linha e supressores de energia apropriados em bobinas e outras cargas indutivas.

O conceito de aterramento

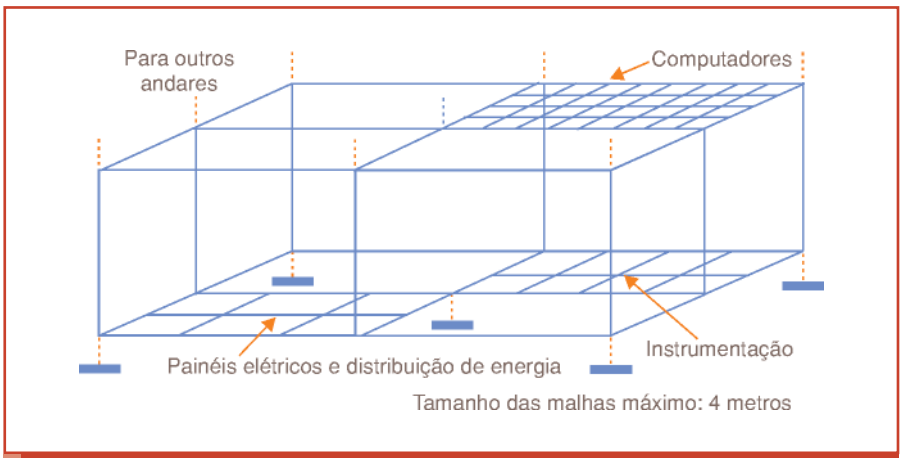
Um dicionário não técnico define o termo «terra» como um ponto em contato com a terra, um retorno comum em um circuito elétrico, e um ponto arbitrário de potencial zero de tensão.

Aterrar ou ligar alguma parte de um sistema elétrico ou circuito para a terra garante segurança pessoal e, geralmente, melhora o funcionamento do circuito.

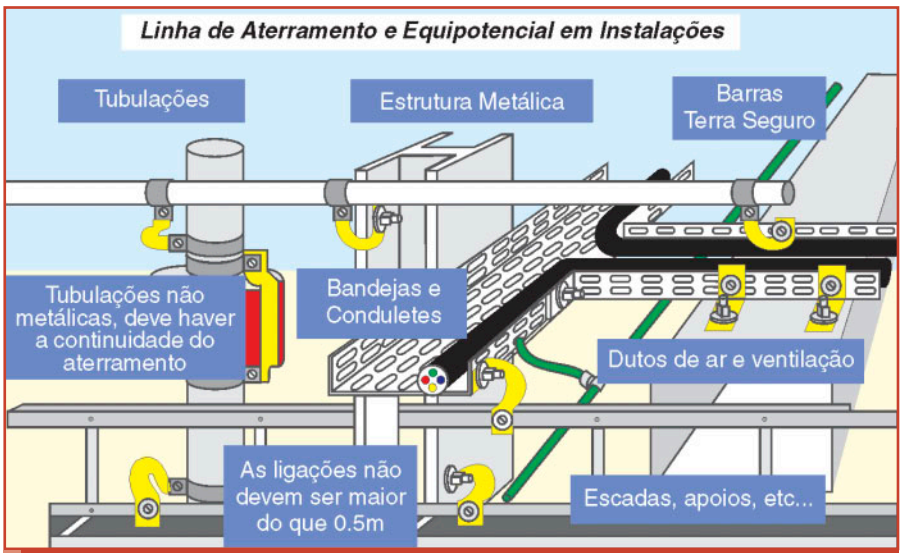
Infelizmente, um ambiente seguro e robusto em termos de aterramento, muitas vezes não acontece simultaneamente.

Fio-terra

Todo circuito deve dispor de condutor de proteção em toda a sua extensão.



F2. Equipotencialização


Linha de Aterramento e Equipotencial em Instalações
Tubulações
Estrutura Metálica
Barras Terra Seguro
Tubulações não metálicas, deve haver a continuidade do aterramento
Bandejas e Conduletes
Dutos de ar e ventilação
As ligações não devem ser maior do que 0.5m
Escadas, apoios, etc...

F3. Linha de Aterramento e Equipotencial em Instalações

Aterramentos de Equipamentos Elétricos Sensíveis

Os sistemas de aterramento devem executar várias funções simultâneas: como proporcionar segurança pessoal e para o equipamento. Resumidamente, segue uma lista de funções básicas dos sistemas de aterramento em:

- Proporcionar segurança pessoal aos usuários;
- Proporcionar um caminho de baixa impedância (baixa indutância) de retorno para a terra, proporcionando o desligamento automático pelos dispositivos de proteção de maneira rápida e segura, quando devidamente projetado;
- Fornecer controle das tensões desenvolvidas no solo quando o curto fase-terra retorna pelo terra para uma fonte próxima, ou mesmo distante;
- Estabilizar a tensão durante transitórios no sistema elétrico provocados por faltas para a terra;
- Escoar cargas estáticas acumuladas em estruturas, suportes e carcaças dos equipamentos em geral;
- Fornecer um sistema para que os equipamentos eletrônicos possam operar satisfatoriamente tanto em alta como em baixas frequências;
- Fornecer uma referência estável de tensão aos sinais e circuitos;
- Minimizar os efeitos de EMI (Emissão Eletromagnética).

O condutor neutro é normalmente isolado e o sistema de alimentação empregado deve ser o TN-S (T: ponto diretamente aterrado, N: massas ligadas diretamente ao ponto de alimentação aterrado, S: condutores distintos para neutro e proteção). Veja a **figura 1**.

O condutor neutro exerce a sua função básica de conduzir as correntes de retorno do sistema.

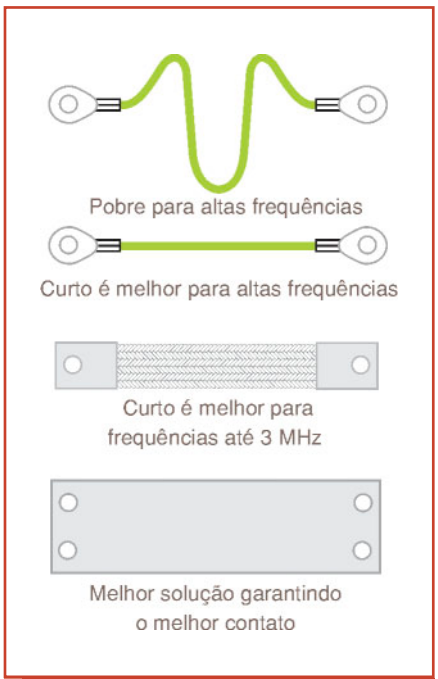
O condutor de proteção exerce a sua função básica de conduzir à terra as correntes de massa. Todas as carcaças devem ser ligadas ao condutor de proteção.

O condutor de equipotencialidade deve exercer a sua função básica de referência de potencial do circuito eletrônico.

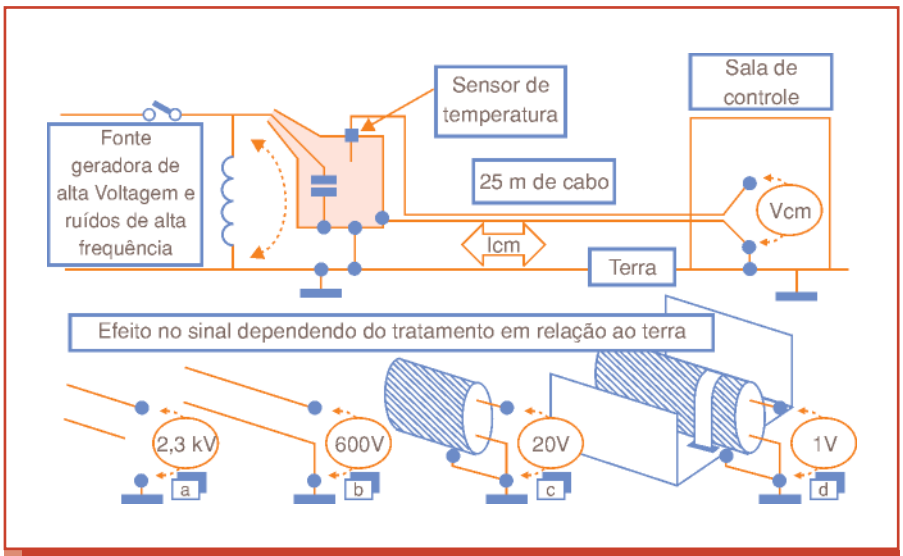
Para atender as funções anteriores destacam-se três características fundamentais:

- Capacidade de condução;
- Baixo valor de resistência;
- Configuração de eletrodo que possibilite o controle do gradiente de potencial.

Independentemente da finalidade, proteção ou funcional, o aterramento deve ser único em cada local da instalação. Existem situações onde os terras podem ser separados, porém precauções devem ser tomadas.


Pobre para altas frequências
Curto é melhor para altas frequências
Curto é melhor para
frequências até 3 MHz
Melhor solução garantindo
o melhor contato

F4. Material para Equipotencializar



F5. Exemplo da importância do aterramento e equipotencialização e sua influência no sinal.

Em relação à instalação dos componentes do sistema de aterramento, alguns critérios devem ser seguidos:

- O valor da resistência de aterramento não deve se modificar consideravelmente ao longo do tempo;
- Os componentes devem resistir às condições térmicas, termomecânicas e eletromecânicas;
- Os componentes devem ser robustos ou mesmo possuir proteção mecânica adequada para atender às condições de influências externas;
- Deve-se impedir danos aos eletrodos e as outras partes metálicas por efeitos de eletrólise.

Equipotencializar

A definição de equipotencializar é deixar tudo no mesmo potencial, o que significa, na prática, minimizar a diferença de potencial para reduzir acidentes.

Em cada edificação deve ser realizada uma equipotencialização principal e ainda as massas das instalações situadas em uma mesma edificação devem estar conectadas a equipotencialização principal e desta forma a um mesmo e único eletrodo de aterramento. Veja **figuras 2 e 3**.

A equipotencialização funcional tem a função de equalizar o aterramento e garantir o bom funcionamento dos circuitos de sinal e a compatibilidade eletromagnética.

Condutor para Equipotencialização

Principal: deve ter no mínimo a metade da seção do condutor de proteção de maior seção e no mínimo:

- 6 mm² (Cobre);
- 16 mm² (Alumínio);
- 50 mm² (Aço).

Atente para a **figura 4**.

Considerações sobre equipotenciais

Observe a **figura 5**, onde temos uma fonte geradora de alta tensão e ruídos de alta frequência e um sistema de medição de temperatura a 25 m da sala de controle e onde, dependendo do acondicionamento dos sinais, podemos ter até 2,3 kV nos terminais de medição. Conforme se vai melhorando as condições de blindagem, aterramento e equalização chega-se à condição ideal para a medição.

Em sistemas distribuídos, como de controle de processos industriais, onde se tem áreas fisicamente distantes e com alimentação de diferentes fontes, a orientação é que se tenha o sistema de aterramento em cada local e que sejam aplicadas as técnicas de controle de EMI em cada percurso do encaminhamento de sinal, conforme representado na figura 2.

Implicações de um mau aterramento

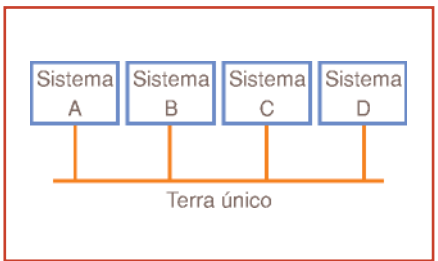
As implicações que um mau (ou mesmo inadequado) aterramento pode causar não se limitam apenas aos aspectos de segurança. Os principais efeitos de um aterramento precário são choques elétricos aos usuários pelo contato, resposta lenta (ou intermitente) dos sistemas de proteção (fusíveis, disjuntores, etc.).

Mas outros problemas operacionais podem ter origem no aterramento deficiente:

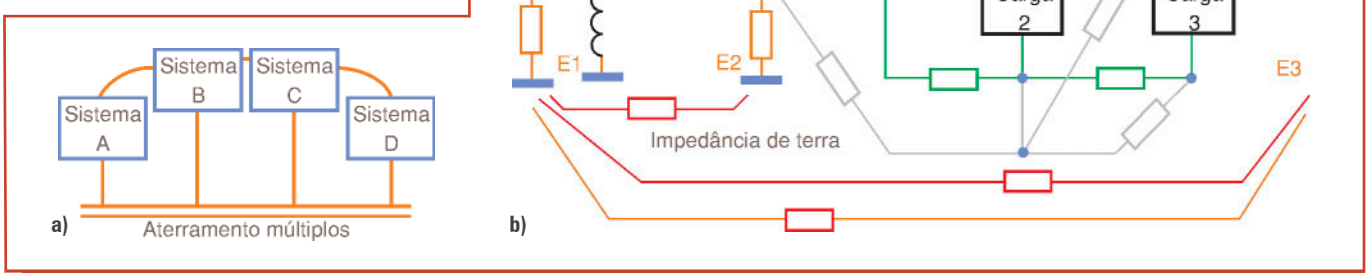
- Falhas de comunicação;
- *Drifts* ou derivas, erros nas medições;
- Excesso de EMI gerado;
- Aquecimento anormal das etapas de potência (inversores, conversores, etc...) e motorização;
- Em caso de computadores, travamentos constantes;
- Queima de componentes eletrônicos sem razão aparente, mesmo sendo em equipamentos novos e confiáveis;
- Intermitências.

O sistema de aterramento deve ser único e deve atender a diferentes finalidades:

- Controle de interferência eletromagnética, tanto interno ao sistema eletrônico (acoplamento capacitivo, indutivo e por impedância comum) como externo ao sistema (ambiente);
- Segurança operacional, sendo as carcaças dos equipamentos ligadas ao terra de proteção e, dessa forma, qualquer sinal aterrado ou referenciado à carcaça ou ao painel, direta ou indiretamente, fica automaticamente referenciado ao terra de distribuição de energia;
- Proteção contra raios, onde os condutores de descida do Sistema de



F6. Aterramento em um único ponto.



F7. Aterramento em multipontos (a) e aterramento na Prática (b).

Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) devem ser conectados às estruturas metálicas (para evitar centelhamento) e sistemas de eletrodos de terra interconectados com o terra de energia, encanamentos metálicos, etc., ficando o "terra dos circuitos" ligado ao "terra do pára-raios" (via estrutura ou sistema de eletrodos).

A consequência é que equipamentos com carcaças metálicas ficam expostos a ruído nos circuitos de aterramento (energia e raios).

Para atender aos requisitos de segurança, proteção contra raios e EMI, o sistema de aterramento deveria ser um plano com impedância zero, onde teríamos a mistura de diferentes níveis de corrente destes sistemas sem interferência. Isto é, uma condição ideal, o que na prática não é bem assim.

Tipos de Aterramento

Em termos da indústria de processos podemos identificar alguns tipos de terras:

- "Terra sujo" : São os que estão presentes nas instalações tipicamente envolvendo o 127 VAC, 220 VAC, 480 VAC e que estão associadas a alto nível de comutação, tais como os CCMs, iluminação, distribuição de energia, etc, fontes geradoras de EMI. É comum que alimentação AC primária apresente picos, surtos, os chamados *spikes* e que degradam o terra AC;
- "Terra limpo": São os que estão presentes em sistemas e circuitos DC, tipicamente 24 VDC, alimentando CLPs, controladores e tendo sinais de aquisição e controle de dados, assim como redes digitais;
- "Terra estrutural": São os aterramentos via estrutura e que forçam o sinal a 0 V. Tipicamente tem a função de gaiola de Faraday, agindo como proteção a raios.

Observação: Terra de "chassi" ou "carcaça" é usado como uma proteção contra choque elétrico. Este tipo de terra não é um terra de "resistência zero", e seu potencial de terra pode variar. No entanto, os circuitos são quase sempre ligados à terra para a prevenção de riscos de choque.

Aterramento em um único ponto

O sistema de aterramento por um único ponto pode ser visto na **figura 6**, onde o ponto marcante é um único ponto de terra do qual se tem a distribuição do mesmo para toda a instalação.

Esta configuração é mais apropriada para o espectro de frequências baixas e ainda atende perfeitamente a sistemas eletrônicos de alta frequência instalados em áreas reduzidas.

E mais, este sistema dever ser isolado e não deve servir de caminho de retorno para as correntes de sinais, que devem circular por condutores de sinais, por exemplo, com pares balanceados.

Este tipo de aterramento paralelo elimina o problema de impedância comum, mas o faz em detrimento da utilização de um monte de cabeamento. Além disso, a impedância de cada fio pode ser muito elevada e as linhas de terra podem se tornar fontes de ruído do sistema. Este tipo de situação pode ser minimizado escolhendo o tipo correto de condutor (tipo AWG 14). Cabos de bitola maiores ajudam na redução da resistência de terra, enquanto o uso de fio flexível reduz a impedância de terra.

Aterramento em multipontos

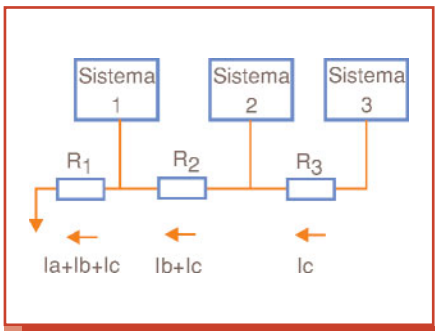
Para frequências altas, o sistema multiponto é o mais adequado, conforme caracterizado na **figura 7a**, inclusive simplificando a instalação. Muitas conexões de baixa impedância entre os condutores PE e os eletrodos de aterramento em combinação com múltiplos caminhos de alta impedância entre os eletrodos e as impedâncias dos condutores cria um sistema de aterramento complexo com uma rede de impedância (ver **figura 7b**), e as correntes que fluem através dele provocam diferentes potenciais de terra nas interligações em vários pontos desta rede.

Os sistemas com aterramentos multipontos que empregam circuitos balanceados geralmente não apresentam problemas de ruídos. Neste caso ocorre filtragem do ruído, onde o seu campo fica contido entre o cabo e o plano de terra (**figura 8**).

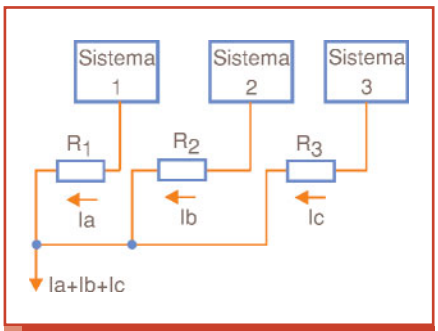
Na **figura 9** tem-se um aterramento adequado, onde as correntes individuais são conduzidas a um único ponto de aterramento.

A ligação à terra em série é muito comum porque é simples e econômica. No entanto, este é o aterramento que proporciona um

terra sujo, devido à impedância comum entre os circuitos. Quando vários circuitos compartilham um fio terra, as correntes de um circuito (que flui através da impedância finita da linha de base comum) podem provocar variações no potencial de terra dos demais circuitos. Se as correntes são grandes o suficiente, as variações do potencial de terra podem causar sérias perturbações nas operações de todos os circuitos ligados ao terra comum de sinal.



F8. Aterramento em multipontos inadequado.

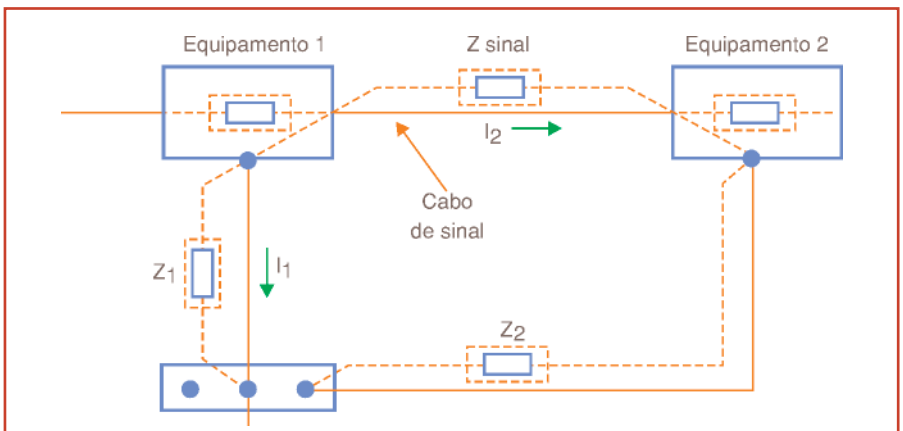


F9. Aterramento adequado, em um único ponto.

Loops de terra

Um *loop* de terra ocorre quando existe mais de um caminho de aterramento, gerando correntes indesejáveis entre estes pontos (**figura 10**).

Estes caminhos formam o equivalente ao *loop* de uma antena que capta as correntes de interferência com alta eficiência. Com isto, a referência de tensão fica instável e o ruído aparece nos sinais.



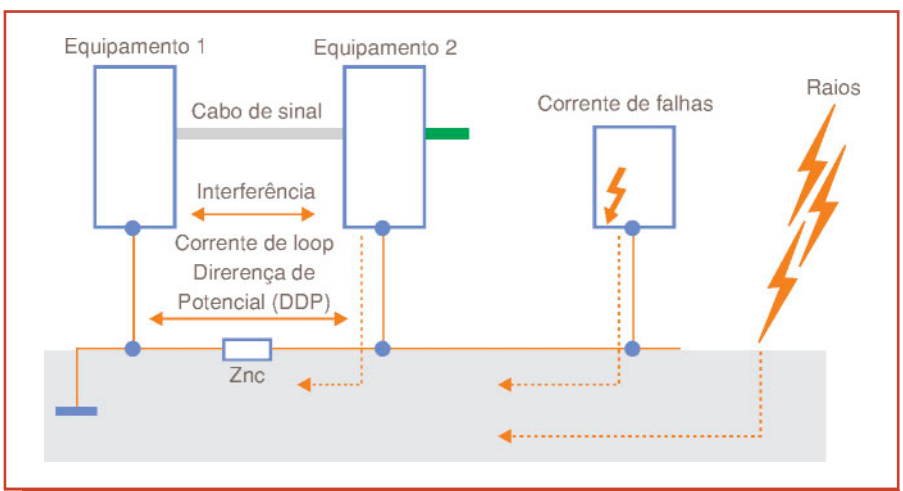
F10. Loop de terra.

Aterramento ao nível dos equipamentos: Prática

Na prática, o que se faz é um "sistema misto", separando circuitos semelhantes e segregando quanto ao nível de ruído:

- "Terra de sinais" para o aterramento de circuitos mais sensíveis;
- "Terra de ruído" para o aterramento de comandos (relés), circuitos de alta potência (CCMs, por exemplo);
- "Terra de equipamento" para o aterramento de *racks*, painéis, etc.,

Sendo estes três circuitos conectados ao condutor de proteção (**figura 11**).



F11. Aterramento ao nível dos equipamentos na prática.

Os sinais podem variar devido a:

- Flutuação de tensão;
- Harmônicas de corrente;
- RF conduzidas e radiadas;
- Transitórios (condução ou radiação);
- Campos Eletrostáticos;
- Campos Magnéticos;
- Reflexões;
- *Crosstalk*;
- Atenuações;
- Jitter (ruído de fase).

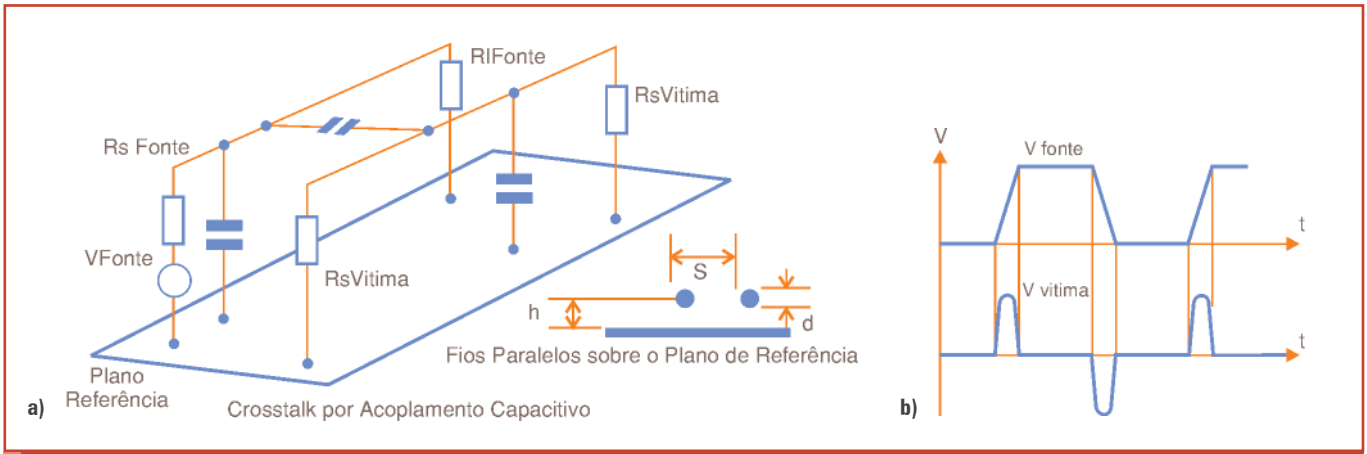
As principais fontes de interferências são:

- Acoplamento capacitivo (interação de campos elétricos entre condutores);
- Acoplamento indutivo (acompanhadas por um campo magnético. O nível de perturbação depende das variações de corrente (di /dt) e da indutância de acoplamento mútuo);
- Condução através de impedância comum (aterramento): Ocorre quando as correntes de duas áreas diferentes passam por uma mesma impedância. Por exemplo, o caminho de aterramento comum de dois sistemas.

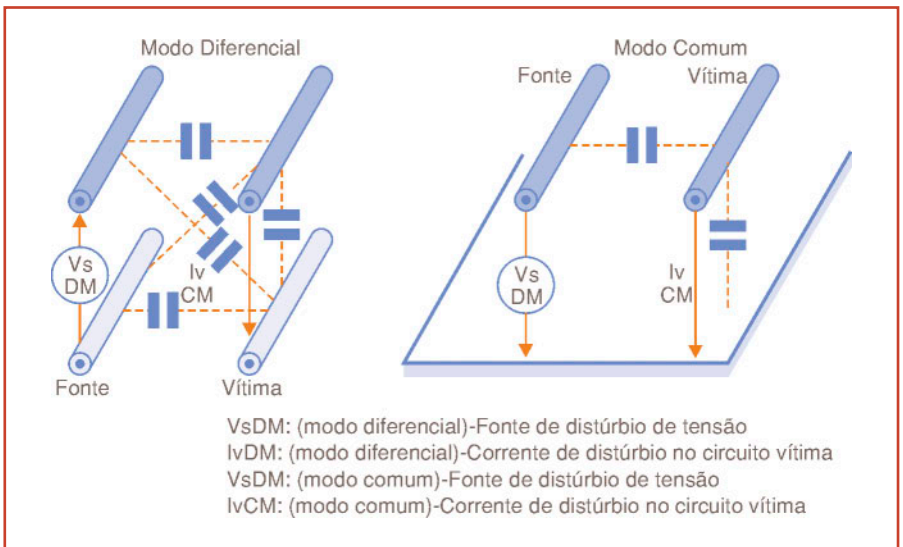
Acoplamento Capacitivo

O acoplamento capacitivo é representado pela interação de campos elétricos entre condutores. Um condutor passa próximo a uma fonte de ruído (perturbador), capta este ruído e o transporta para outra parte do circuito (vítima). É o efeito de capacitância entre dois corpos com cargas elétricas, separadas por um dielétrico, o que chamamos de efeito da capacitância mútua. O efeito do campo elétrico é proporcional à frequência e inversamente proporcional à distância.

O nível de perturbação depende das variações da tensão (dv/dt) e o valor da capacitância de acoplamento entre o "cabo



F12. Efeito por acoplamento capacitivo (a) e seu exemplo (b).



F13. Modo diferencial e modo comum – Acoplamento capacitivo.

perturbador" e o "cabo vítima". A capacitância de acoplamento aumenta com:

- O inverso da frequência: O potencial para acoplamento capacitivo aumenta de acordo com o aumento da frequência (a reatância capacitiva, que pode ser considerada como a resistência do acoplamento capacitivo, diminui de acordo com a frequência, e pode ser vista na fórmula: **Xc = 1/2πfC**);
- A distância entre os cabos perturbadores e vítima e o comprimento dos cabos que correm em paralelo;
- A altura dos cabos com relação ao plano de referência (em relação ao solo);
- A impedância de entrada do circuito vítima (circuitos de alta impedância de entrada são mais vulneráveis);
- O isolamento do cabo vítima (r do isolamento do cabo), principalmente para pares de cabos fortemente acoplados.

As **figuras 12a e 12b** mostram exemplos de acoplamentos capacitivos.

Na **figura 13** podemos ver o acoplamento e suas fontes de tensão e corrente em modo comum e diferencial.

Algumas medidas para reduzir o efeito do acoplamento capacitivo:

- Limite o comprimento de cabos correndo em paralelo;
- Aumente a distância entre o cabo perturbador e o cabo vítima;
- Aterre uma das extremidades dos *shields* nos dois cabos;
- Reduza o dv/dt do sinal perturbador, aumentando o tempo de subida do sinal, sempre que possível (baixando a frequência do sinal).

Envolva sempre que possível o condutor ou equipamento com material metálico (blindagem de Faraday). O ideal é que cubra cem por cento da parte a ser protegida e que se aterre esta blindagem para que a capacitância parasita entre o condutor e a blindagem não atue como elemento de realimentação ou de crosstalk. A **figura 14** ilustra a interferência entre cabos, onde o acoplamento capacitivo entre cabos induz transiente (*pickups* eletrostáticos) de tensão. Nesta situação a corrente de interferência é drenada ao terra pelo shield, sem afetar os níveis de sinais.

A **figura 15** mostra exemplo de proteção contra transientes.

Interferências eletrostáticas podem ser reduzidas com:

- Aterramento e blindagens adequadas;
- Isolação Óptica;
- Uso de canaletas e bandejamentos metálicos aterrados.

A **figura 16** exibe a capacitância de acoplamento entre dois condutores separados por uma distância D.

Acoplamento Indutivo

O "cabo perturbador" e o "cabo vítima" são acompanhadas por um campo magnético. O nível de perturbação depende das variações de corrente (di /dt) e da indutância de acoplamento mútuo. O acoplamento indutivo aumenta com:

- A frequência: a reatância indutiva é diretamente proporcional à frequência (**XL = 2πfL**);
- A distância entre os cabos perturbadores e vítima e o comprimento dos cabos que correm em paralelo;
- A altura dos cabos com relação ao plano de referência (em relação ao solo);
- A impedância de carga do cabo ou circuito perturbador. Veja a **figura 17.**

Algumas medidas para reduzir o efeito do acoplamento indutivo entre cabos:

- Limite o comprimento de cabos correndo em paralelo;
- Aumente a distância entre o cabo perturbador e o cabo vítima;
- Aterre uma das extremidades dos shields dos dois cabos;
- Reduza o dv/dt do perturbador aumentando o tempo de subida do sinal, sempre que possível (resistores conectados em série ou resistores PTC no cabo perturbador, anéis de ferrite nos perturbadores e/ou cabo vítima).

Algumas medidas para reduzir o efeito do acoplamento indutivo entre cabo e campo:

- Limite a altura h do cabo ao plano de terra;
- Sempre que possível coloque o cabo junto à superfície metálica;
- Use cabos trançados;
- Use ferrites e filtros de EMI. Observe a **figura 18**.

Algumas medidas para reduzir o efeito do acoplamento indutivo entre cabo e loop de terra:

- Reduza a altura (h) e o comprimento do cabo;
- Sempre que possível coloque o cabo junto à superfície metálica;
- Use cabos trançados;
- Em altas frequências aterre o *shield* em dois pontos (cuidado!) e em baixas frequências em um ponto só.

Acompanhe a **figura 19.**

Agora, atente para a **tabela 1.**

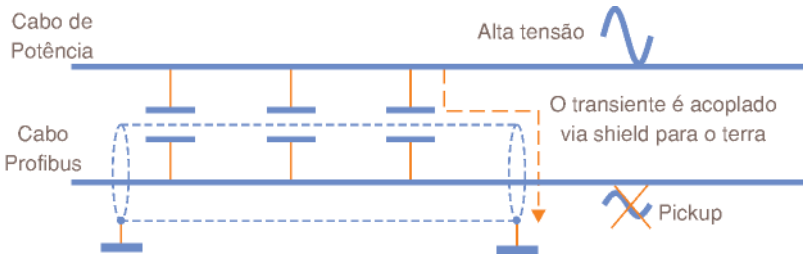
As interferências eletromagnéticas podem ser reduzidas através de:

- Cabo trançado (**figura 20**);
- Isolação Óptica;
- Canaletas e bandejamentos metálicos aterrados.

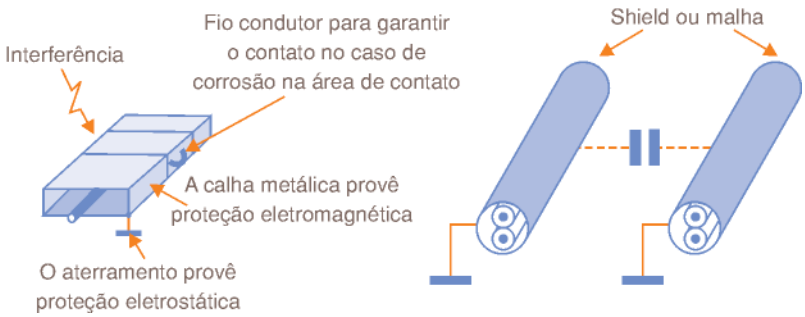
Para minimizar o efeito de indução deve-se usar o cabo de par trançado que minimiza a área (S) e diminui o efeito da tensão induzida Vb em função do campo B, balanceando os efeitos (média dos efeitos segundo as distâncias):

$$V_b = \frac{d}{dt}\int_{"loop"} \vec{B}\cdot d\vec{S}$$

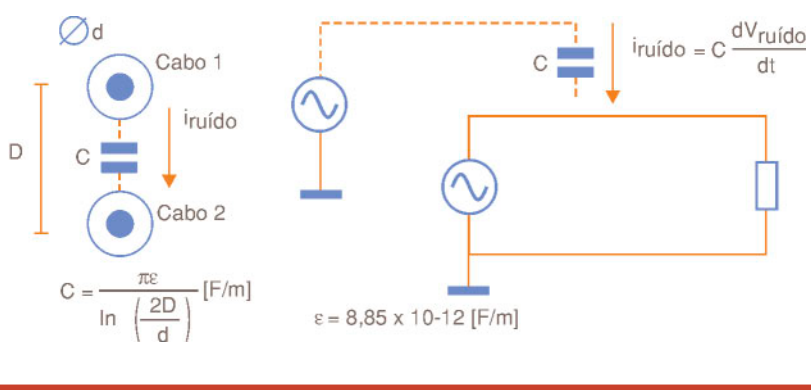
O cabo de par trançado é composto por pares de fios. Os fios de um par são enrolados em espiral a fim de, através do efeito de cancelamento, reduzir o ruído e manter constantes as propriedades elétricas do meio por toda a sua extensão.



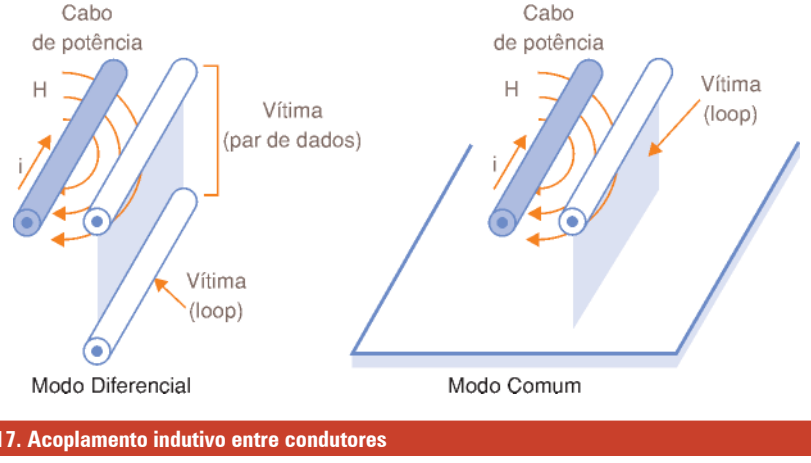
F14. Interferência entre cabos: o acoplamento capacitivo entre cabos induz transientes (pickups eletrostáticos) de tensão.


Interferência
Fio condutor para garantir o contato no caso de corrosão na área de contato
Shield ou malha
A calha metálica provê proteção eletromagnética
O aterramento provê proteção eletrostática

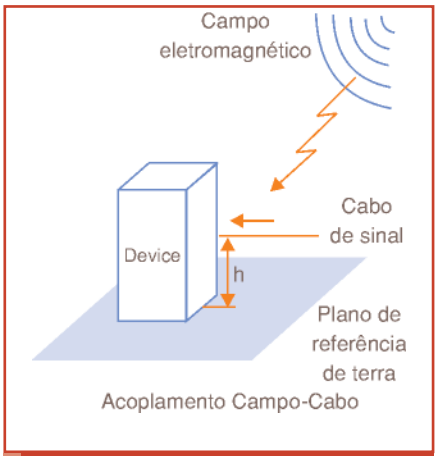
F15. Exemplo de proteção contra transientes (melhor solução contra corrente de Foucault)



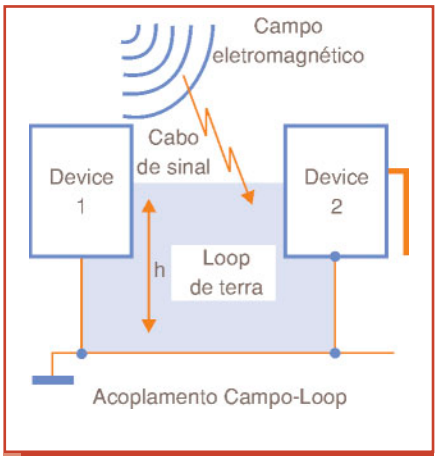
F16. Acoplamento capacitivo entre condutores a uma distância D.



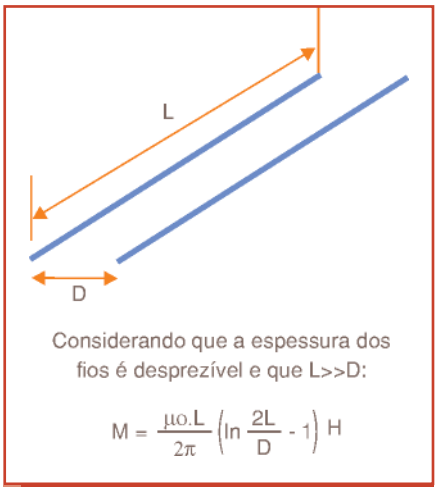
F17. Acoplamento indutivo entre condutores



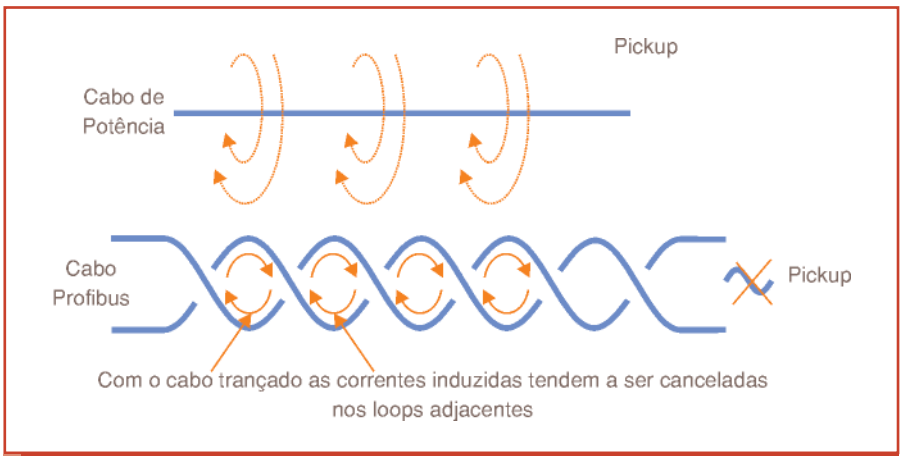
F18. Acoplamento indutivo entre cabo e campo



F19. Acoplamento indutivo entre cabo e loop de terra



F21. Indutância mútua entre dois condutores.



F20. Interferência entre cabos: campos magnéticos através do acoplamento indutivo entre cabos induzem transientes (pickups eletromagnéticos) de corrente.

	Cabo de Comunicação Digital	Cabos com e sem shield: Vdc ou 5Vac e < 400Vac	Cabos com e sem shield: > 400Vac	Qualquer cabo sujeito à exposição de raios
Cabo de comunicação Digital		10 cm	20 cm	50 cm
Cabos com e sem shield: Vdc ou 25Vac e < 400Vac	10 cm		10 cm	50 cm
Cabos com e sem shield: > 400Vac	20 cm	10 cm		50 cm
Qualquer cabo sujeito à exposição de raios	50 cm	50 cm	50 cm	

T1. Distâncias entre cabos de comunicação digital e outros tipos de cabos para garantir a proteção a EMI.

O efeito de redução com o uso da trança tem sua eficiência em função do cancelamento do fluxo, chamada de Rt (em dB):

$$Rt = -20 \log\{(1/(2nl+1))*[1+2nl\,sen(/ny)]\}$$

onde n é o número de voltas/m e l é o comprimento total do cabo. Veja **figura 22.**

O efeito de cancelamento reduz a diafonia *(crosstalk)* entre os pares de fios e diminui o nível de interferência eletromagnética/radiofrequência. O número de tranças nos fios pode ser variado a fim de reduzir o acoplamento elétrico. Com sua construção proporciona um acoplamento capacitivo entre os condutores do par. Tem um comportamento mais eficaz em baixas frequências (< 1 MHz). Quando não é blindado, tem a desvantagem com o ruído em modo comum. Para baixas frequências, isto é, quando o comprimento do cabo é menor que 1/20 do comprimento de onda da frequência do ruído, a blindagem (malha ou shield) apresentará o mesmo potencial em toda sua extensão, neste caso recomenda-se conectar a blindagem em um só ponto de terra. Em altas frequências, isto é quando o comprimento do cabo é maior que 1/20 do comprimento de onda da frequência do ruído, a blindagem apresentará alta suscetibilidade ao ruído e neste caso recomenda-se que seja aterrada nas duas extremidades.

No caso indutivo Vruído = $2\pi BA\cos\alpha$, onde B é o campo e α é o ângulo em que o fluxo corta o vetor área (A) ou ainda em função da indutância mútua M: Vruído = $2\pi fMI$, onde I é a corrente no cabo de potência.

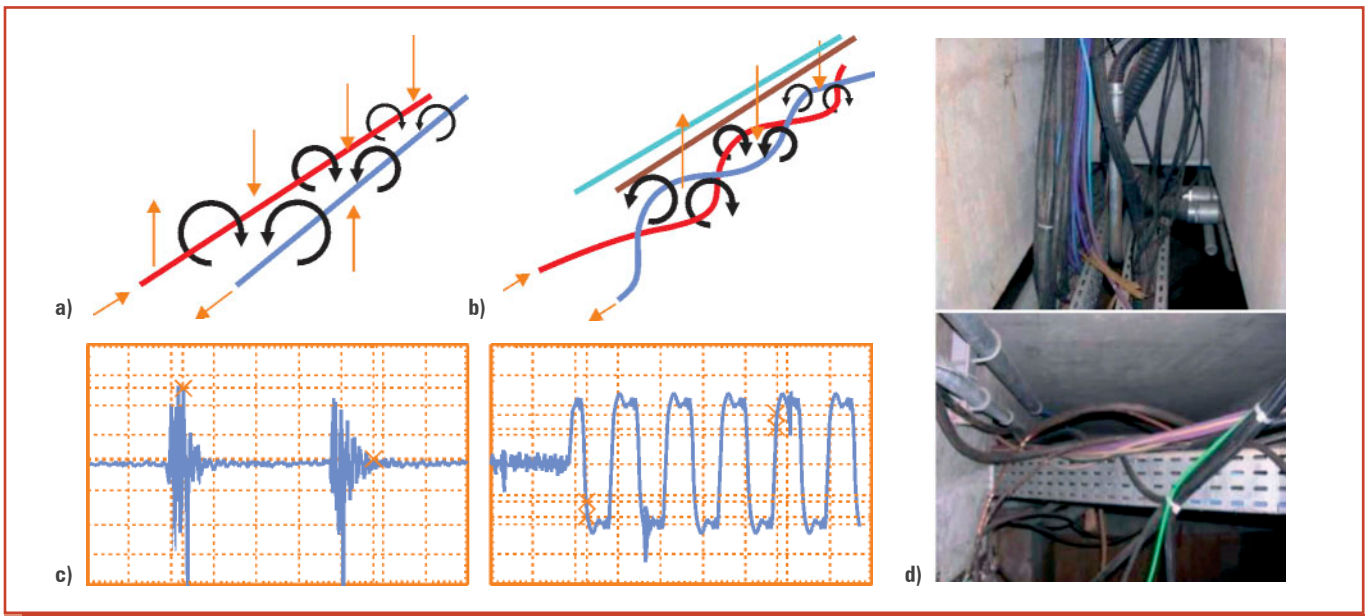
O uso de cabo de par trançado é muito eficiente desde que a indução em cada área de torção seja aproximadamente igual a indução adjacente. Seu uso é eficiente em modo diferencial, circuitos balanceados e tem baixa eficiência em baixas frequências em circuitos desbalanceados. Em circuitos de alta frequência com multipontos aterrados, a eficiência é alta, uma vez que a corrente de retorno tende a fluir pelo retorno adjacente. Contudo, em altas frequências em modo comum o cabo tem pouca eficiência.

A **figura 23** detalha a situação do Profibus-DP e os loops de terra.

Proteção com o uso de canaletas metálicas

Veremos a seguir o uso de canaletas metálicas na minimização de correntes de Foucault, (**figura 24**).

O espaçamento entre as canaletas facilita a perturbação gerada pelo campo magnético.



F22. Efeito de acoplamento indutivo em cabos paralelos (a), minimização do efeito de acoplamento indutivo em cabos torcidos (b), exemplo de ruído por indução (c), exemplo de Cabos Profibus próximos a cabo de potência (d).

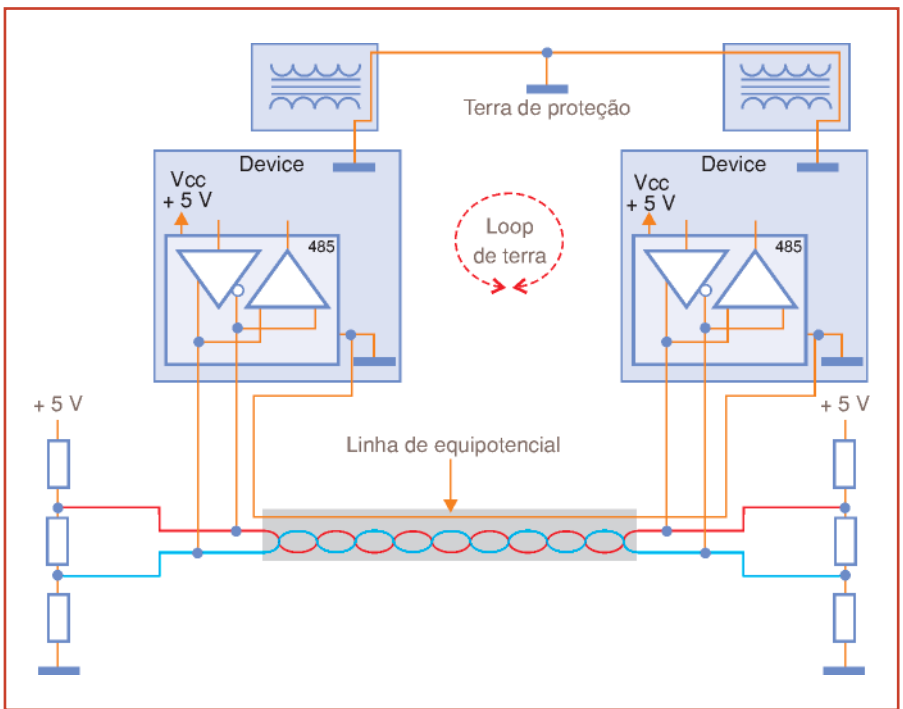
Além disso, esta descontinuidade pode facilitar a diferença de potencial entre cada segmento da canaleta e no caso de um surto de corrente gerado, por exemplo, por uma descarga atmosférica ou um curto, a falta de continuidade não permitirá que a corrente circule pela canaleta de alumínio e, consequentemente, não protegerá o cabo Profibus.

O ideal é que se una cada segmento com a maior área de contato possível, o que terá uma maior proteção à indução eletromagnética e ainda que se tenha entre cada segmento um condutor de cada lado da canaleta, com comprimento o menor possível, para garantir um caminho alternativo às correntes caso haja um aumento de resistência nas junções entre os segmentos.

Com a montagem adequada da canaleta de alumínio, o campo, ao penetrar na placa de alumínio da canaleta, produz um fluxo magnético variável em função do tempo [f = a.sen(w.t)], dando origem a uma f.e.m. induzida [E = - df/dt = a.w.cos(w.t)].

Em frequências altas, a f.e.m. induzida na placa de alumínio será maior, dando origem a um campo magnético maior, anulando quase que completamente o campo magnético gerado pelo cabo de potência. Esse efeito de cancelamento é menor em baixas frequências. Em altas, o cancelamento é mais eficiente.

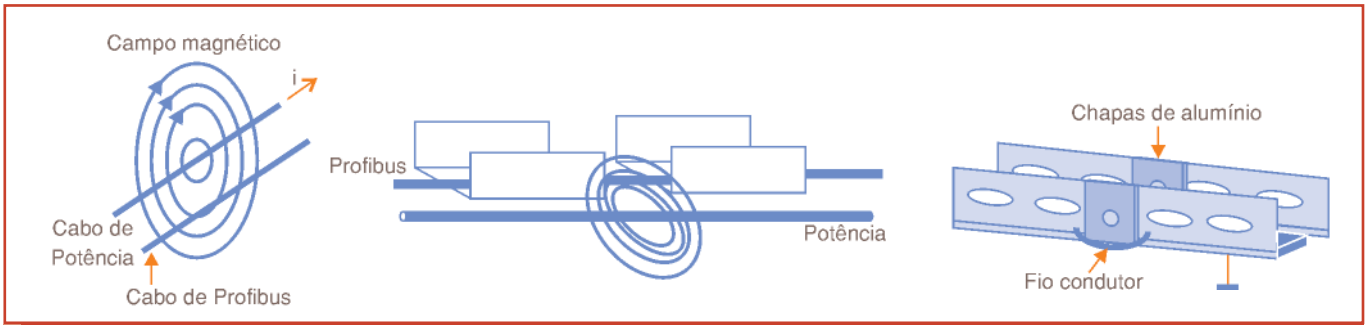
Esse é o efeito das placas e telas metálicas frente à incidência de ondas eletromagnéticas; elas geram seus próprios campos que minimizam ou mesmo anulam o campo através delas, funcionando assim como verdadeiras blindagens às ondas eletromagnéticas. Funcionam como uma gaiola de Faraday.



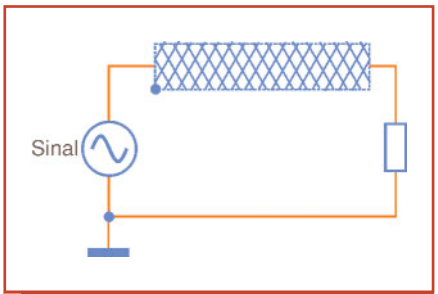
F23. Profibus-DP e os loops de terra.

Certifique-se que as chapas e os anéis de acoplamento sejam feitos do mesmo material que as canaletas/bandejas de cabos. Proteja os ponto de conexões contra corrosão depois da montagem, por exemplo, com tinta de zinco ou verniz.

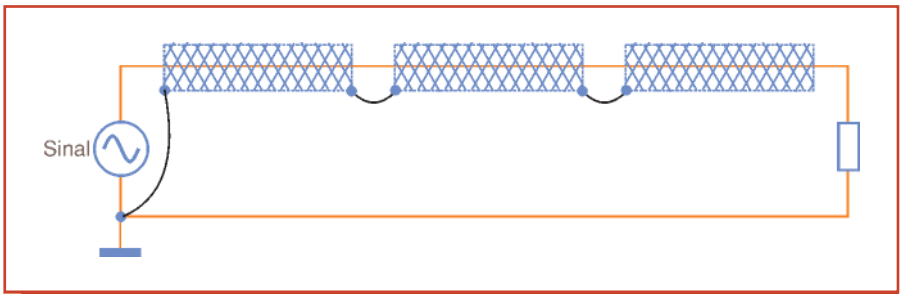
Embora os cabos sejam blindados, a blindagem contra campos magnéticos não é tão eficiente quanto é contra campos elétricos.Em baixas frequências, os pares trançados absorvem a maior parte dos efeitos da interferência eletromagnética. Já em altas frequências esses efeitos são absorvidos pela blindagem do cabo. Sempre que possível, conecte as bandejas de cabos ao sistema de linha equipotencial.



F24. Proteção de transientes com o uso de canaletas metálicas.



F25. Blindagem conectada ao potencial de referência do sinal que está protegendo.



F26. Blindagem em múltiplos segmentos conectada ao potencial de referência do sinal que está protegendo.

Aterramento de Equipamentos de Campo

A grande maioria dos fabricantes de equipamentos de campo como transmissores de pressão, temperatura, posicionadores, conversores, etc, recomenda o aterramento local de seus produtos. É comum que em suas carcaças exista um (ou mais) terminal de aterramento.

Ao se instalar os equipamentos, normalmente, suas carcaças estão em contato com a parte estrutural, ou tubulações e, consequentemente, aterradas. Nos casos em que a carcaça é isolada de qualquer ponto da estrutura, os fabricantes recomendam o aterramento local, onde aconselha-se uma conexão a menor possível com fio AWG 12. Neste caso, deve-se ter o cuidado em relação a diferença de potencial entre o ponto aterrado e o painel onde se encontra o controlador (CLP).

Alguns fabricantes recomendam ainda que o equipamento fique flutuando, isto é, isolado da estrutura e que não seja aterrado, evitando os loops de corrente. Em relação as áreas classificadas, recomenda-se consultar as regulamentações locais.

Em equipamentos microprocessados e com comunicação digital, alguns fabricantes incorporam ou tornam disponível os protetores de surtos ou transientes. Estes proporcionam a proteção a correntes de picos, fornecendo um caminho de desvio de baixa impedância para o ponto de terra.

Blindagem

Aterramento e blindagem são requisitos mandatórios para garantir a integridade dos dados de uma planta. É muito comum, na prática, encontrarmos funcionamento intermitente e erros grosseiros em medições devido às más instalações.

Os efeitos de ruídos podem ser minimizados com técnicas adequadas de projetos, instalação, distribuição de cabos, aterramento e blindagens. Aterramentos inadequados podem ser fontes de potenciais indesejados e perigosos e que podem comprometer a operação efetiva de um equipamento ou o próprio funcionamento de um sistema.

A blindagem (shield) deve ser conectada ao potencial de referência do sinal que está protegendo, vide **figura 25.**

Quando se tem múltiplos segmentos deve-se mantê-los conectados, garantindo o mesmo potencial de referência, conforme ilustra a **figura 26**.

Efeito blindagem X Aterramento em um único ponto

Neste caso, a corrente não circulará pela malha e não cancelará campos magnéticos (**figura 27**). Deve-se minimizar o comprimento do condutor que se estende fora da blindagem e garantir uma boa conexão do shield ao terra.

Efeito blindagem X Aterramento em dois pontos

Ocorre uma distribuição das correntes, em função das suas frequências, pois a corrente tende a seguir o caminho de menor impedância (**figura 28**).

Até alguns kHz: a reatância indutiva é desprezível e a corrente circulará pelo caminho de menor resistência.

Acima de kHz: há predominância da reatância indutiva e, com isto, a corrente circulará pelo caminho de menor indutância.

O caminho de menor impedância é aquele cujo percurso de retorno é próximo ao percurso de ida, por apresentar maior capacitância distribuída e menor indutância distribuída.

Deve-se minimizar o comprimento do condutor que se estende fora da blindagem e garantir uma boa conexão do shield ao terra.

Vale citar neste caso:

- Não há proteção contra *loops* de terra;
- Danos aos equipamentos ativos possivelmente significativos quando a diferença de potencial de terra entre ambos os extremos ultrapassar 1 V (rms);
- A resistência elétrica do aterramento deve ser a mais baixa possível em ambos os extremos do segmento para minimi-

zar os loops de terra, principalmente em baixas frequências;
- A blindagem de cabos é usada para eliminar interferências por acoplamento capacitivo devidas a campos elétricos;
- A blindagem só é eficiente quando estabelece um caminho de baixa impedância para o terra;
- Uma blindagem flutuante não protege contra interferências;
- A malha de blindagem deve ser conectada ao potencial de referência (terra) do circuito que está sendo blindado;
- Aterrar a blindagem em mais de um ponto pode ser problemático.

Deve-se minimizar comprimento da ligação blindagem-referência, pois funciona como uma bobina (**figura 29**).

Campos elétricos são muito mais fáceis de blindar do que campos magnéticos, e o uso de blindagens em um ou mais pontos funciona contra campos elétricos.

O uso de metais não magnéticos em volta de condutores não blinda contra campos magnéticos.

A chave para blindagem magnética é reduzir a área de *loop*. Utiliza-se um par trançado ou o retorno de corrente pela blindagem.

Para prevenir a radiação de um condutor, uma blindagem aterrada em ambos os lados é geralmente utilizada acima da frequência de corte, porém alguns cuidados devem ser tomados.

Apenas uma quantidade limitada de ruído magnético pode ser blindada devido ao loop de terra formado.

Qualquer blindagem na qual flua corrente de ruído não deve ser parte do caminho para o sinal.

Utilize um cabo trançado blindado ou um cabo triaxial em baixas frequências.

A efetividade da blindagem do cabo trançado aumenta com o número de voltas por cm.

Aterramento em áreas classificadas

Recomenda-se verificar a NBR 5418 para aterramento e ligação com sistema equipotencial de sistemas intrinsecamente seguros.

Um circuito intrinsecamente seguro deve estar flutuando, ou estar ligado ao sistema equipotencial associado com a área classificada em somente um ponto.

Algumas dicas gerais envolvendo painéis de controle, CCMs e instrumentação

Recomenda-se o uso de filtro RFI e que sempre se conecte este filtro o mais próximo possível da fonte de ruído (entre o filtro RFI e o *drive*).

Nunca misture cabos de entrada e de saída.

Todos os motores acionados por inversores devem ser alimentados preferencialmente com cabos blindados aterrados nas duas extremidades. Esta é a recomendação de todos os fabricantes de inversores. Vale lembrar que as frequências de comutação variam de 1 k a 35 kHz, normalmente 30 kHz, o que pode influenciar e muito o FF e Profibus-PA.

Sempre que possível, utilizar trafo isolador para a alimentação do sistema de automação.

Utilize repetidores em CCMs isolando galvanicamente, evitando diferenciais de terra.

Para atender as exigências de proteção de EMI todos os cabos externos devem ser blindados, exceto os cabos de alimentação da rede. A malha de blindagem deve ser contínua e não pode ser interrompida.

Certifique-se de que cabos de diferentes zonas estão roteados em dutos separados. Dentro do painel, crie zonas distintas e recomeda-se até ter chapas separadoras que serviram de blindagem.

Certifique-se de que os cabos se cruzam em ângulos retos a fim de minimizar acoplamentos.

Use cabos que possuam valores de impedância de transferência os mais baixos possíveis.

Nos cabos de controle recomenda-se instalar um pequeno capacitor (100 nF a 220 nF) entre a blindagem e o terra para evitar circuito AC de retorno ao terra. Esse capacitor atuará como um supressor de interferência. Mas a orientação é sempre consultar os manuais dos fabricantes dos inversores.

Escolher inversores com toroides ou adicionar toroides (Common mode choke) na saída do inversor.

Utilizar cabo isolado e blindado (4 vias) entre o inversor e o motor e entre o sistema de alimentação até o inversor.

Tentar trabalhar com a frequência de chaveamento a mais baixa possível.

Sempre aterre a carcaça do motor. Faça o aterramento do motor no painel, onde o inversor está instalado ou no próprio inversor.

Inversores geram correntes de fuga e nestes casos, pode-se introduzir um reator de linha na saída do inversor.

Os reatores de linha constituem um meio simples e barato para aumentar a impedância da fonte de uma carga isolada (como um comando de frequência variável, no caso dos inversores).

Os reatores são conectados em série à carga geradora de harmônicas e ao aumentar a impedância da fonte, a magnitude da distorção harmônica pode ser reduzida para a carga na qual o reator é adicionado. Aqui se recomenda consultar o manual do inversor e verificar suas recomendações.

O ideal é ter indutor de entrada incorporado e filtro RFI/EMC para funcionar como uma proteção a mais para o equipamento e como um filtro de harmônicas para a rede elétrica, onde o mesmo encontra-se ligado.

A principal função do filtro RFI de entrada é reduzir as emissões conduzidas por radiofrequência às principais linhas de distribuição e aos fios-terra. O Filtro RFI de entrada é conectado entre a linha de alimentação CA de entrada e os terminais de entrada do inversor.

Ondas refletidas: se a impedância do cabo utilizado não estiver casada com a do motor, acontecerão reflexões. Vale lembrar que o cabo entre o inversor e o motor apresenta uma impedância para os pulso de saída do inversor (a chamada Surge Impedance). Nestes casos também se recomenda reatores.

Cabos especiais: outro detalhe importante e que ajuda a minimizar os efeitos dos ruídos eletromagnéticos gerados em instalações com inversores e motores AC é o uso de cabos especiais que evitam o efeito corona de descargas que podem deteriorar a rigidez dielétrica da isolação, permitindo a presença de ondas estacionárias e a transferência de ruídos para a malha de terras. Outra característica construtiva de alguns cabos é a dupla blindagem, que é mais eficiente na proteção à EMI.

Em termos da rede digitais, distanciá-la do inversor, onde os sinais vão para os motores e colocar repetidores isolando as áreas.

Verificar se há necessidade de se colocar nos inversores capacitores de modo comum no barramento CC.

As especificações de bitola do cabo e as recomendações normalmente são baseadas em 75 °C. Não reduza a bitola do fio quando usar um fio de temperatura maior. As bitolas mínima e máxima dependem da corrente nominal do inversor e das limitações físicas dos blocos de terminais.

O(s) conector(es) de aterramento deve(m) ser classificados de acordo com a capacidade máxima da corrente do inversor.

Para aplicações de inversor CA de frequência variável que devem cumprir os padrões de EMC, recomenda-se que o mesmo tipo de cabo blindado especificado para os motores CA seja usado entre o inversor e o transformador.

Mantenha os comprimentos de cabo do motor dentro dos limites estabelecidos pelo manual do usuário do inversor. Podem ocorrer vários problemas, inclusive na corrente de carga do cabo e no esforço por tensão de onda refletida.

As E/S discretas como, por exemplo, os comandos de partida e parada, podem ser conectadas ao inversor com vários cabos. A blindagem do cabo é recomendável, uma vez que pode ajudar na redução do ruído de acoplamento cruzado dos cabos de alimentação. Condutores-padrão individuais que atendem às especificações gerais em relação ao tipo, à temperatura, à bitola e aos códigos aplicáveis são aceitáveis, caso sejam afastados dos cabos de alta tensão para minimizar o acoplamento de ruído. No entanto, a instalação do cabo multicondutor pode ser mais barata.

Esteja atento à isolação dos cabos. Normalmente, deve ser maior que 300 V.

Para aplicações com vários motores, examine a instalação com cuidado. Em geral, a maioria das instalações não tem nenhum problema. No entanto, correntes de carga em cabo com picos elevados podem causar sobrecorrentes no inversor ou faltas à terra.

Quando houver terminais TE e PE, aterre-os separadamente no ponto mais próximo no painel usando uma malha trançada. Caso seja usado um fio-terra PE do painel, ele deve estar conectado no mesmo lado do painel que as conexões do eletroduto/armadura. Isso mantém o ruído em modo comum afastado do *backplane* doCLP.

Blindagens do cabo:

Cabos de motor e de entrada

As blindagens dos cabos de motor e de entrada devem ser ligadas em ambas as extremidades para oferecer um caminho contínuo para a corrente de ruído em modo comum.

Cabos de controle e de sinal

As blindagens dos cabos de controle devem ser conectadas apenas em uma extremidade. A outra extremidade deve ser cortada e isolada

A blindagem de um cabo entre dois gabinetes deve ser conectada ao gabinete que contém a fonte do sinal.

A blindagem de um cabo entre um gabinete e um dispositivo externo deve ser conectada na extremidade do gabinete, a menos quando especificado em contrário pelo fabricante do dispositivo externo.

Jamais conecte uma blindagem ao lado comum de um circuito de lógica (isso levará ruído ao circuito de lógica). Conecte a blindagem diretamente ao aterramento do rack.

Ao encaminhar a fiação até o inversor, separe os fios de alta tensão e os condutores do motor dos condutores de E/S e de sinal. Para mantê-los separados, encaminhe-os por um eletroduto separado ou use divisores de bandeja.

Não encaminhe mais de 3 conjuntos de condutores de motor (3 inversores) pelo mesmo eletroduto. Mantenha os limites de preenchimento do eletroduto de acordo com os códigos elétricos aplicáveis. Não passe condutores de motor ou cabos de alimentação ou de comunicação pelo mesmo eletroduto. Se possível, evite passar grandes extensões de fios de força de entrada e condutores de motor pelo mesmo eletroduto.

Em relação aos bandejamentos, disponha cuidadosamente a geometria de múltiplos conjuntos de cabos. Mantenha os condutores de cada grupo no mesmo pacote. Disponha os condutores de forma a minimizar as correntes induzidas entre os conjuntos e equilibrá-las. Isso é crítico em inversores com potências nominais de 200 HP (150 kW), e mais, mantenha os cabos de alimentação e de controle separados. Ao dispor bandejas para cabos para inversores grandes, verifique se a bandeja ou o eletroduto que contém a fiação de sinal fique a 30 cm ou mais da que contém a fiação do motor ou de força. Os campos eletromagnéticos das correntes de motor ou de alimentação podem induzir correntes nos cabos de sinal. Os divisores também oferecem uma excelente separação.

Faça a terminação das conexões de alimentação, de motor e de controle nos blocos de terminais do inversor.

Em baixas frequências, de níveis de CC até 1 MHz, a blindagem do cabo pode ser aterrada em uma única extremidade do cabo e oferecer uma boa resposta quanto aos efeitos da interferência eletromagnética. Em frequências mais altas, recomenda-se aterrar a blindagem do cabo em ambas as extremidades do cabo. Nesses casos, é muito importante que as diferenças de potencial de terra em ambos os pontos de conexão ao aterramento sejam as mínimas possíveis. A diferença em tensão, entre ambos os extremos deve ser, no máximo, de 1 V (rms) para que os efeitos dos *loops* de terra sejam minimizados. É também importante considerar que, em altas frequências, há a capacitância parasita de acoplamento que tende a completar o *loop* quando a blindagem está aterrada em um único extremo do cabo.

O nível de isolação requerido (exceto em um ponto) deve ser projetado para suportar 500 V no ensaio de isolação de acordo com 6.4.12 da IEC 60079-11.

Quando este requisito não for atendido, então o circuito deve ser considerado aterrado naquele ponto. Mais de uma conexão ao terra é permitida no circuito, desde que o circuito seja dividido em subcircuitos galvanicamente isolados, e cada qual esteja aterrado somente em um ponto.

Blindagens devem ser conectadas a terra ou à estrutura de acordo com a ABNT NBR IEC 60079-14.

Sempre que possível, conecte as bandejas de cabos ao sistema de linha equipotencial.

As malhas (Shield) devem ser aterradas em um único ponto no condutor de equalização de potencial. Se houver necessidade, por razões funcionais, de outros pontos de aterramento, é permitido que sejam feitos por meio de pequenos capacitores de tipo cerâmico, inferiores a 1 nF e para 1500 V, desde que a somatória das capacitâncias não ultrapasse 10 nF.

Nunca instale um dispositivo que tenha sido instalado anteriormente sem uma barreira intrinsecamente segura em um sistema intrinsecamente seguro, pois o zener de proteção pode estar queimado e não vai atuar em áreas intrinsecamente seguras.

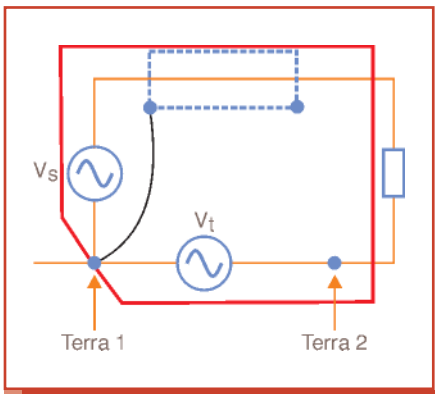
Cuidados e recomendações com o aterramento e shield no barramento PROFIBUS-PA

Ao considerar a questão de *shield* e aterramento em barramentos de campo, deve-se levar em conta:

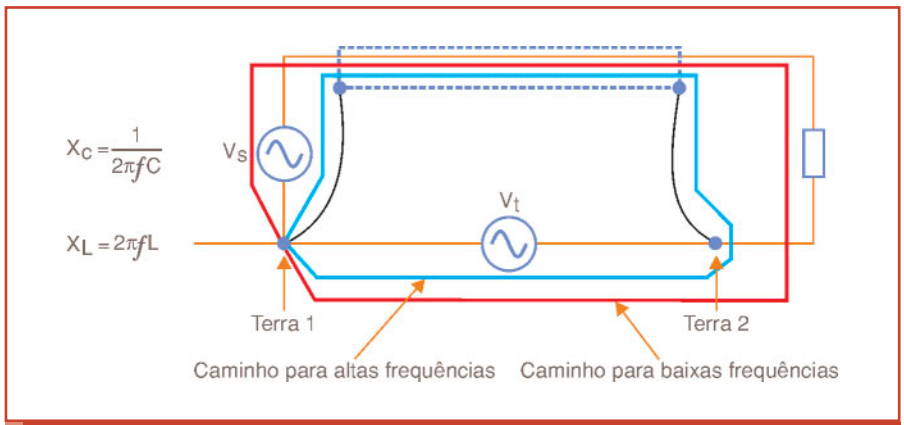
- A compatibilidade eletromagnética (EMC);
- Proteção contra explosão;
- Proteção de pessoas.

De acordo com a IEC 61158-2, aterrar significa estar permanentemente conectado ao terra através de uma impedância suficientemente baixa e com capacidade de condução suficiente para prevenir qualquer tensão que possa resultar em danos de equipamentos ou pessoas. Linhas de tensão com 0 volt devem ser conectadas ao terra e serem galvanicamente isoladas do barramento Fieldbus.

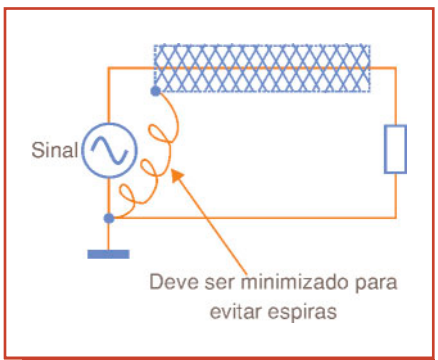
Preferencialmente, o *shield* deve ser aterrado em dois pontos, no início e final de barramento, desde que não haja diferença de potencial entre estes pontos, permitindo



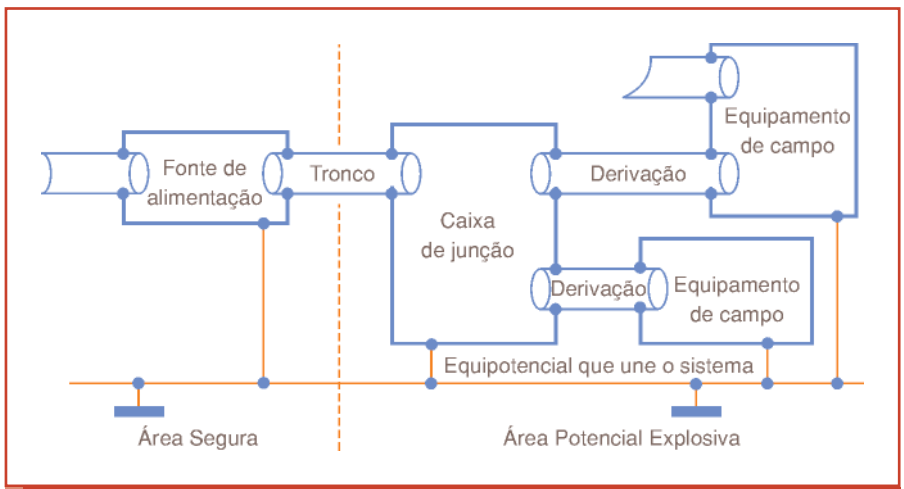
F27. Efeito blindagem x aterramento em um único ponto.



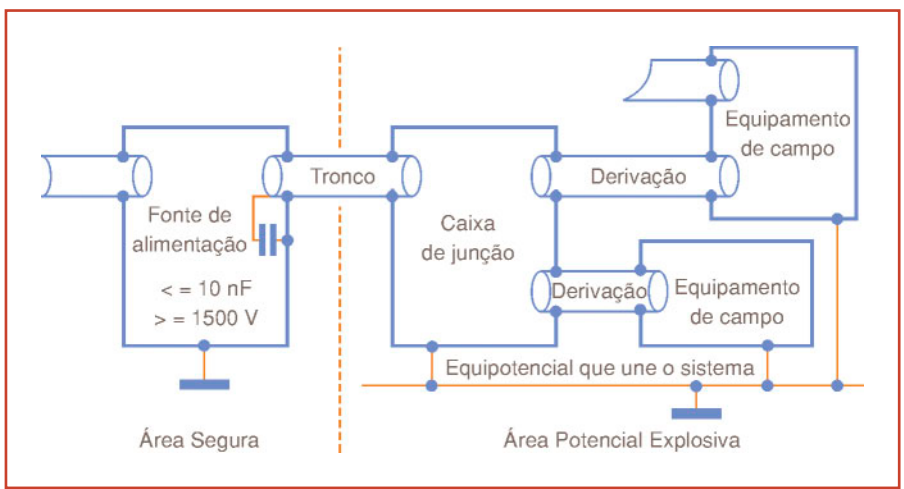
F28. Efeito Blindagem x aterramento em dois pontos.



F29. Deve-se minimizar o comprimento da ligação blindagem-referência pois funciona como uma bobina.



F30. Combinação Ideal de Shield e Aterramento.



F31. Aterramento Capacitivo.

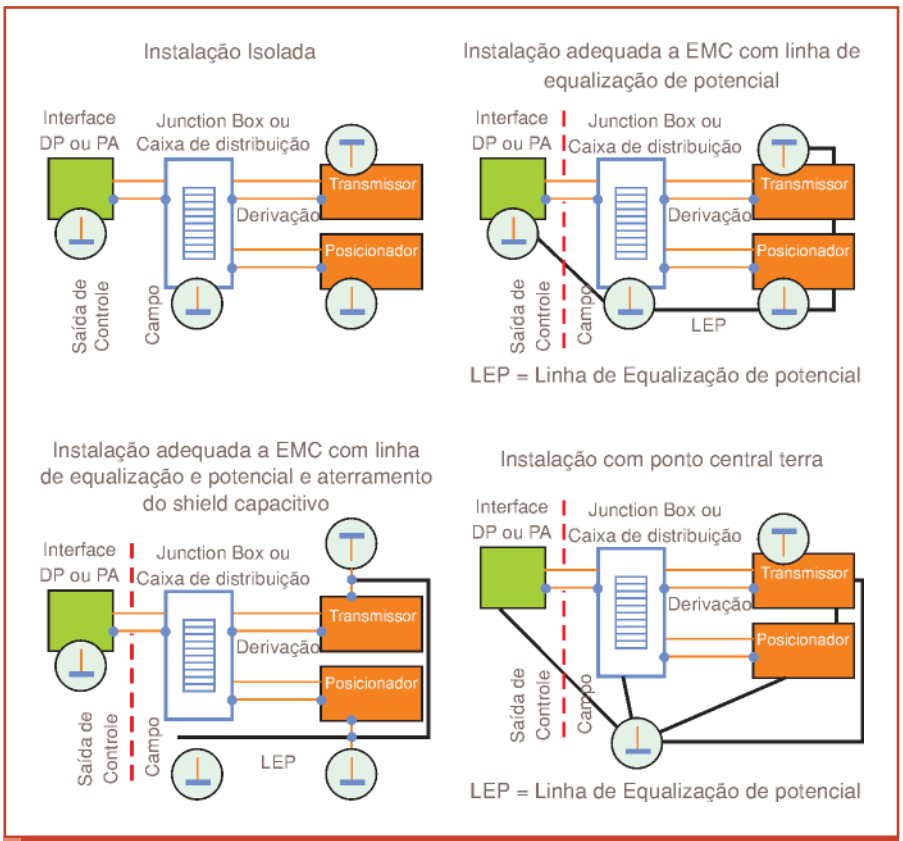
a existência e caminhos a corrente de *loop*. Na prática, quando esta diferença existe, recomenda-se aterrar *shield* somente em um ponto, ou seja, na fonte de alimentação ou na barreira de segurança intrínseca. Deve-se assegurar a continuidade da blindagem do cabo em mais do que 90% do comprimento total do cabo.

O *shield* deve cobrir completamente os circuitos elétricos através dos conectores, acopladores, *splices* e caixas de distribuição e junção.

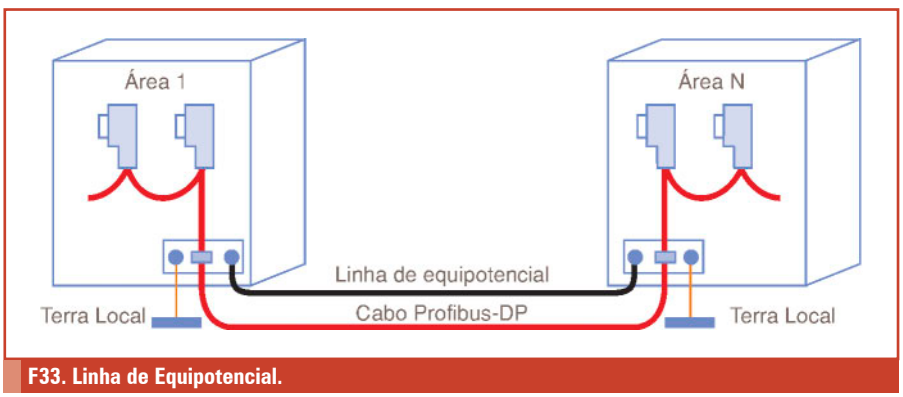
Nunca se deve utilizar o *shield* como condutor de sinal. É preciso verificar a sua continuidade até o último equipamento PA do segmento, analisando a conexão e acabamento, pois este não deve ser aterrado nas carcaças dos equipamentos.

Em áreas classificadas, se uma equalização de potencial entre a área segura e área perigosa não for possível, o *shield* deve ser conectado diretamente ao terra (*Equipotential Bonding System*) somente no lado da área perigosa. Na área segura, o *shield* deve ser conectado através de um acoplamento capacitivo (capacitor preferencialmente cerâmico (dielétrico sólido), C<= 10 nF, tensão de isolação >= 1,5 kV). Veja as **figuras 30 e 31.**

A IEC 61158-2 recomenda que se tenha a isolação completa. Este método é usado principalmente nos Estados Unidos e na Inglaterra. Neste caso, o *shield* é isolado de todos os terras, a não ser o ponto de terra do negativo da fonte ou da barreira de segurança intrínseca do lado seguro. O *shield* tem continuidade desde a saída do *coupler* DP/PA, passa pelas caixas de junções e distribuições e chega até os equipamentos. As carcaças dos equipamentos são aterradas individualmente do lado não


Instalação Isolada
Interface DP ou PA
Junction Box ou Caixa de distribuição
Transmissor
Derivação
Posicionador
Saída de Controle
Campo
Instalação adequada a EMC com linha de equalização de potencial
LEP
LEP = Linha de Equalização de potencial
Instalação adequada a EMC com linha de equalização e potencial e aterramento do shield capacitivo
Instalação com ponto central terra

F32. Aterramento e Shield – Várias formas



F33. Linha de Equipotencial.

seguro. Este método tem a desvantagem de não proteger os sinais totalmente dos sinais de alta frequência e, dependendo da topologia e comprimento dos cabos, pode gerar em alguns casos a intermitência de comunicação. Recomenda-se nestes casos o uso de canaletas metálicas.

Uma outra forma complementar à primeira, seria ainda aterrar as caixas de junções e as carcaças dos equipamentos em uma linha de equipotencial de terra, do lado não seguro. Os terras do lado não seguro com o lado seguro são separados.

A condição de aterramento múltiplo também é comum, onde se tem uma proteção mais efetiva às condições de alta frequência e ruídos eletromagnéticos. Este método é preferencialmente adotado na Alemanha e em alguns países da Europa. Neste método, o *shield* é aterrado no ponto de terra do negativo da fonte ou da barreira de segurança intrínseca do lado seguro e além disso, no terra das caixas de junções e nas carcaças dos equipamentos, sendo estas também aterradas pontualmente, no lado não seguro. Uma outra condição seria complementar a esta, porém os terras seriam aterrados em conjunto em uma linha equipotencial de terra, unindo o lado não seguro ao lado seguro. Veja a **figura 32.**

Para mais detalhes, sempre consultar as normas de segurança do local. Recomenda-se utilizar a IEC 60079-14 como referência em aplicações em áreas classificadas.

Cuidados e recomendações com o aterramento e shield no barramento PROFIBUS-DP

O shield (a malha, assim como a lâmina de alumínio) deve ser conectado ao terra funcional do sistema em todas as estações (via conector e cabo DP), de tal forma a proporcionar uma ampla área de conexão com a superfície condutiva aterrada.

A máxima proteção se dá com os todos os pontos aterrados, onde se proporciona um caminho de baixa impedância aos sinais de alta frequência.

Em casos onde se tem um diferencial de tensão entre os pontos de aterramento recomenda-se passar junto ao cabeamento uma linha de equalização de potencial (a própria calha metálica pode ser usada ou por exemplo um cabo AWG 10-12). Veja **figura 33.**

Em termos de cabeamento, é recomendado o par de fios trançados com 100% de cobertura do shield. As melhores condições de atuação do shield se dão com pelo menos 80% de cobertura.

Quando se fala em shield e aterramento, na prática existem outras maneiras de tratar este assunto, onde há muitas controvérsias, como por exemplo, o aterramento do shield pode ser feito em cada estação através do conector 9-pin sub D (veja **figura 34**), onde a carcaça do conector dá contato com o *shield* neste ponto e ao conectar na estação é aterrado. Este caso, porém, deve ser analisado pontualmente e verificado em cada ponto a graduação de potencial dos terras e se necessário, equalizar estes pontos.

Em áreas perigosas deve-se sempre fazer o uso das recomendações dos órgãos certificadores e das técnicas de instalação exigidas pela classificação das áreas. Um sistema intrinsecamente seguro deve possuir componentes que devem ser aterrados e outros que não. O aterramento tem a função de evitar o aparecimento de tensões consideradas inseguras na área classificada. Na área classificada evita-se o aterramento de componentes intrinsecamente seguros, a menos que o mesmo seja necessário para fins funcionais, quando se emprega a isolação galvânica. A normalização estabelece uma

isolação mínima de 500 Vca. A resistência entre o terminal de aterramento e o terra do sistema deve ser inferior a 1. No Brasil, a NBR-5418 regulamenta a instalação em atmosferas potencialmente explosivas.

Um outro cuidado que deve ser tomado é o excesso de terminação. Alguns dispositivos possuem terminação *on-board*.

A **figura 35** apresenta detalhes de cabeamento, shield e aterramento quando se tem áreas distintas.

Quanto ao aterramento, recomenda-se agrupar circuitos e equipamentos com características semelhantes de ruído em distribuição em série e unir estes pontos em uma referência paralela. Recomenda aterrar as calhas e bandejamentos.

Um erro comum é o uso de terra de proteção como terra de sinal. Vale lembrar que este terra é muito ruidoso e pode apresentar alta impedância. É interessante o uso de malhas de aterramento, pois apresentam baixa impedância. Condutores comuns com altas frequências apresentam a desvantagem de terem alta impedância. Os loops de correntes devem ser evitados. O sistema de aterramento deve ser visto como um circuito que favorece o fluxo de corrente sob a menor indutância possível. O valor de terra deve ser menor do que 10 Ω.

Layout e Painéis de automação e elétricos

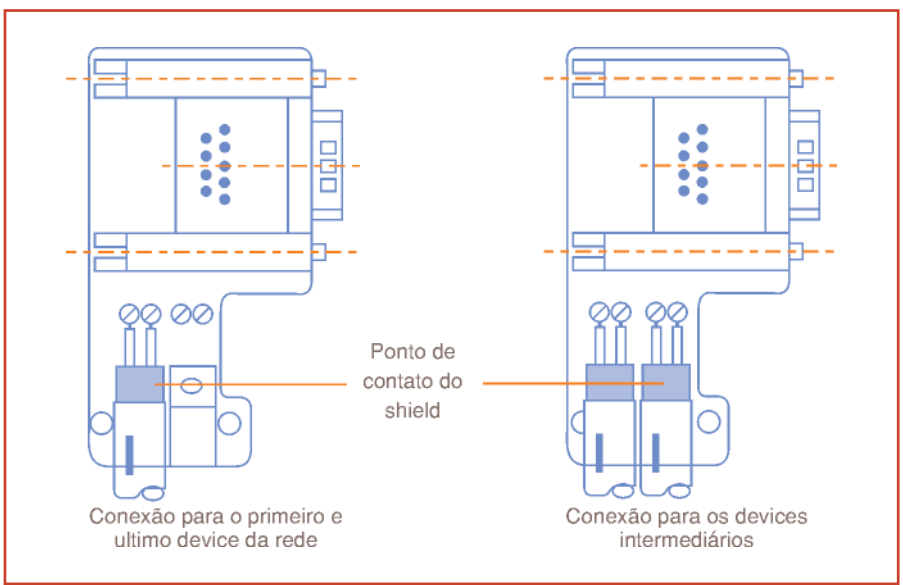
- Não aproximar o cabo de redes com os cabos de alimentação e saída dos inversores, evitando-se assim, a corrente de modo comum. Sempre que possível limitar o tamanho dos cabos, evitando comprimentos longos e ainda, as conexões devem ser as menores possíveis;
- Cabos longos e paralelos atuam como um grande capacitor;
- A boa prática de layout em painéis permite que a corrente de ruído flua entre os dutos de saída e de entrada, ficando fora da rota dos sinais de comunicação e controladores;
- Todas as partes metálicas do armário/gabinete devem estar eletricamente conectadas com a maior área de contato;
- Deve-se utilizar braçadeira e aterrar as malhas (shield) dos cabos;
- Cabos de controle, comando e de potência devem estar fisicamente separados (> 30 cm);
- Sempre que possível, utilizar placas de separação e aterradas;
- Contatores, solenoides e outros dispositivos/assessórios eletromagnéticos devem ser instalados com dispositivos supressores, tais como: *snubbers* (RCs, os snubbers podem amortecer oscilações, controlar a taxa de variação da tensão e/ou corrente, e grampear sobretensões), diodos ou varistores;
- Evitar comprimentos de fiação desnecessários, assim diminuem-se as capacitâncias e indutâncias de acoplamento;
- Se utilizada uma fonte auxiliar 24 Vcc para o *drive*, esta deve ser de aplicação exclusiva ao inversor local. Não alimente outros dispositivos DP com a fonte que alimenta o inversor. O inversor e os equipamentos de automação não devem ser conectados diretamente em uma mesma fonte.

Conclusão

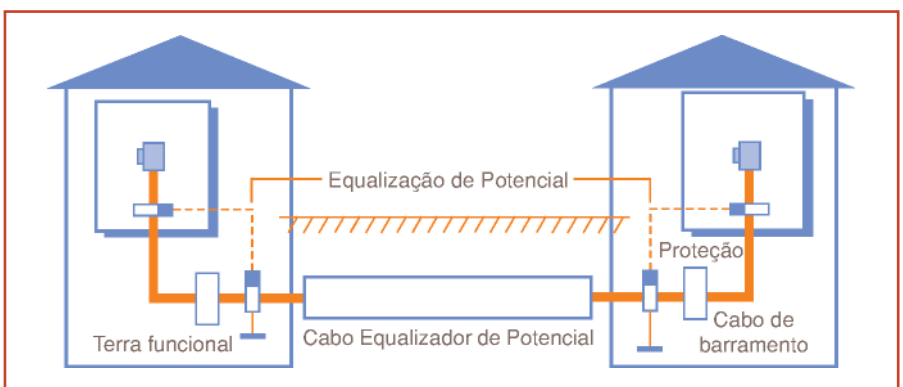
Vimos neste artigo vários detalhes sobre aterramento, blindagens, ruídos, interferências, etc. Todo projeto de automação deve levar em conta os padrões para garantir níveis de sinais adequados, assim como, a segurança exigida pela aplicação.

Recomenda-se que anualmente se tenha ações preventivas de manutenção, verificando cada conexão ao sistema de aterramento, onde deve-se assegurar a qualidade de cada conexão em relação à robustez, confiabilidade e baixa impedância (deve-se garantir que não haja contaminação e corrosão). **MA**

Obs.: Este artigo não substitui a NBR 5410, a NBR 5418, os padrões IEC 61158 e IEC 61784 e nem os perfis e guias técnicos do PROFIBUS. Em caso de discrepância ou dúvida,as normas, os padrões IEC 61158 e IEC 61784, perfis, guias técnicos e manuais de fabricantes prevalecem. Sempre que possível, consulte a EN50170 para as regulamentações físicas, assim como as práticas de segurança de cada área.



F34. Detalhe do conector típico 9-Pin Sub D.



F35. Detalhe de cabeamento em áreas distintas com potenciais de terras equalizados.

WirelessHART™ e o modelo OSI

O fator tecnológico e a inovação tecnológica são responsáveis pelo rompimento e/ou aperfeiçoamento das técnicas e processos de medição e controle. Pode, desta forma, trazer ganhos em termos de competitividade. O rompimento com a tecnologia convencional será uma questão de tempo e com isto serão ampliadas as possibilidades de sucesso com a inovação demandada pelo mercado. Neste artigo daremos continuidade ao WirelessHART.

César Cassiolato
Diretor de Marketing, Qualidade
e Engenharia de Projetos e Serviços
- Smar Equipamentos Industriais

A necessidade de automação na indústria e nos mais diversos segmentos está associada, entre vários aspectos, às possibilidades de aumentar a velocidade de processamento das informações, uma vez que as operações estão cada vez mais complexas e variáveis, requerendo um grande número de controles e mecanismos de regulação para permitir decisões mais ágeis e, portanto, aumentar os níveis de produtividade e eficiência do processo produtivo dentro das premissas da excelência operacional.

Vale lembrar que o uso de protocolos de comunicação na automação industrial tem alta demanda de confiabilidade e robustez.

A solução completa deve prover uma metodologia de gestão da indústria de forma transparente e garantir que todos os esforços sejam direcionados para se atingir a meta estabelecida, facilitando a tomada de decisão quando há mudanças relevantes no desempenho dos indicadores, ou um desvio em relação ao planejado.

Usuários e clientes, então, devem estar atentos na escolha e definição de um sistema de automação e controle, que leve em conta vários critérios e que possa estar sincronizada com o avanço tecnológico.

Quanto mais informação, melhor uma planta pode ser operada e, sendo assim, mais produtos pode gerar e mais lucrativa pode ser. A informação digital e os sistemas verdadeiramente abertos permitem que se colete informações dos mais diversos tipos e finalidades de uma planta, de uma forma interoperável e como ninguém jamais imaginou e, neste sentido, com a tecnologia Fieldbus – Foundation Fieldbus, PROFIBUS, HART (WirelessHART™), DeviceNet, AS-i, etc. – pode-se transformar preciosos *bits* e *bytes* em um relacionamento lucrativo e obter também um ganho qualitativo do sistema como um todo. Não basta apenas pensar em barramento de campo, deve-se estar atento aos benefícios gerais que um sistema de automação e controle possa proporcionar.

A revolução da comunicação industrial na tecnologia da automação está revelando um enorme potencial na otimização de sistemas de processo e tem feito uma importante contribuição na direção da melhoria no uso de recursos.

saiba mais

WirelessHART™: Real-Time Mesh Network for Industrial Automation, Deji Chen, Mark Nixon, Aloysius Mok.

WirelessHART™, César Cassiolato
Mecatrônica Atual 52

Artigos técnicos – César Cassiolato
www.smar.com/brasil2/artigostecnicos/

Site do fabricante:
www.smar.com.br

www.system302.com.br

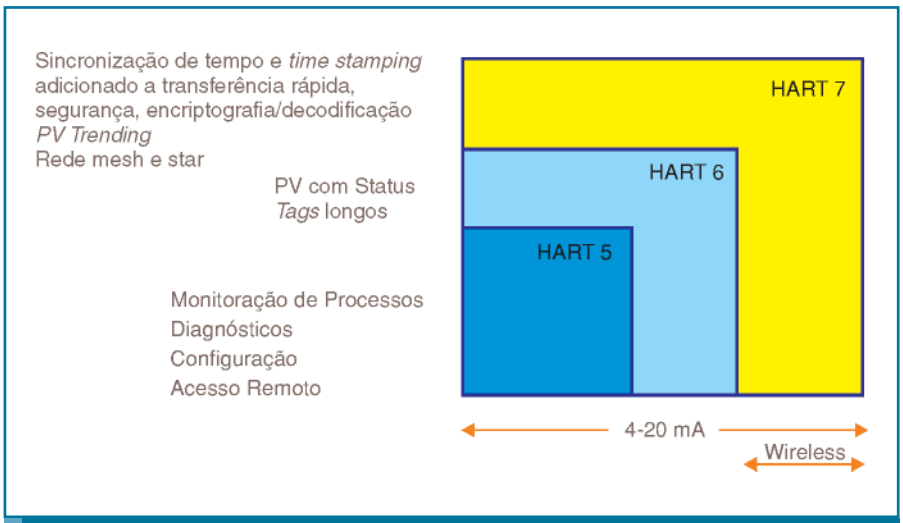
Site:
www.hartcomm.org

A tecnologia da informação tem sido determinante no desenvolvimento da tecnologia da automação, alterando hierarquias e estruturas nos mais diversos ambientes industriais, assim como setores, desde as indústrias de processo e manufatura.

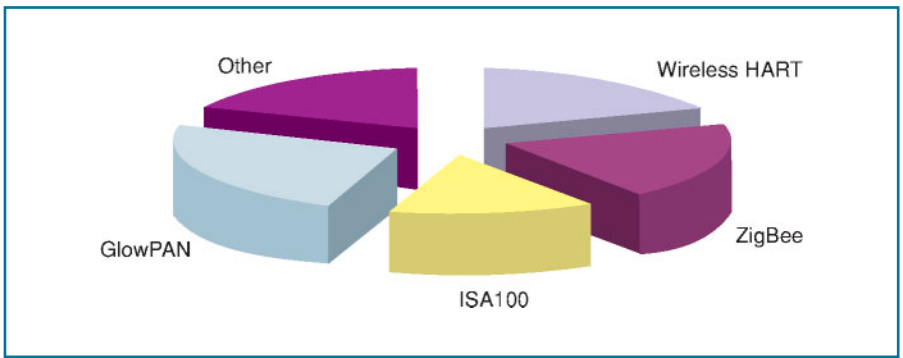
A capacidade de comunicação entre dispositivos e o uso de mecanismos padronizados, abertos e transparentes são componentes indispensáveis do conceito de automação de hoje. A comunicação vem se expandindo rapidamente no sentido horizontal nos níveis inferiores (*field level*), e também no sentido vertical integrando todos os níveis hierárquicos.

De acordo com as características da aplicação e do custo máximo a ser atingido, uma combinação gradual de diferentes sistemas de comunicação oferece as condições ideais de redes abertas em processos industriais.

Nesta série de artigos abordaremos o WirelessHART™.



F1. Evolução do protocolo HART.



F2. IEEE 802.15.4 Projeção 2012 Market Share.

A evolução do protocolo HART

O protocolo HART possui uma grande base instalada com mais de 25 milhões de equipamentos. Introduzido em 1989, tinha a intenção inicial de permitir fácil calibração, ajustes de range e *damping* de equipamentos analógicos.

Foi o primeiro protocolo digital de comunicação bidirecional que não afetava o sinal analógico de controle. Este protocolo tem sido testado com sucesso em milhares de aplicações, em vários segmentos, mesmo em ambientes perigosos. O HART permite o uso de mestres: um console de engenharia na sala de controle e um segundo mestre no campo, por exemplo, um *laptop* ou um programador de mão. Em termos de performance, podemos citar como características do HART:

- Comprovado na prática, projeto simples, fácil operação e manutenção.
- Compatível com a instrumentação analógica;
- Sinal analógico e comunicação digital;
- Opção de comunicação ponto a ponto, ou *multidrop;*
- Flexível acesso de dados, usando-se até dois mestres;
- Suporta equipamentos multivariáveis;
- 500 ms de tempo de resposta (com até duas transações);
- Totalmente aberto com vários fornecedores.

Na versão HART 7 inclui várias características para melhoria de performance, diagnósticos e manutenção e ainda:

- Redes wireless mesh e star;
- Sincronização de tempo e *time stamping;*
- *PV trending;*
- Publish/subscribe (*burst mode*);
- Adicionado a camada de transporte;
- Adicionado a camada de rede;
- Adicionado a transferência rápida, segurança, encriptografia/decodificação. Veja a **figura 1**.

Vimos no artigo anterior sobre WirelessHART™ (**www.smar.com/newsletter/marketing/index98.html)** um pouco sobre os benefícios desta tecnologia e seus elementos de rede. Este é o segundo artigo sobre WirelessHART™. Teremos uma série de artigos sobre esta tecnologia, mostrando em detalhes o protocolo, seus mecanismos e vantagens; acompanhem.

Redes Sem Fio

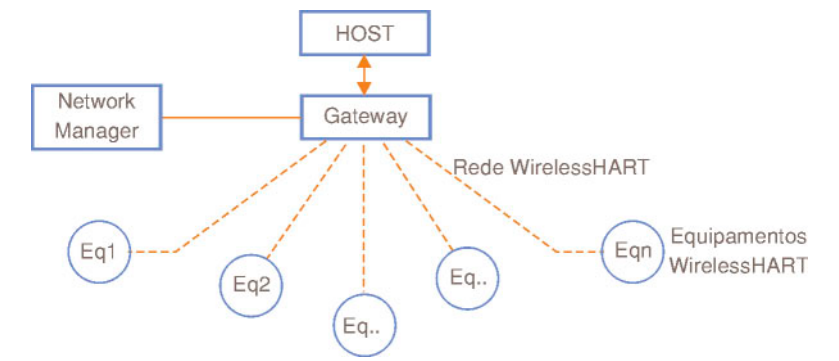
Nos últimos anos, a tecnologia de redes sem fio vem sofrendo grandes avanços tecnológicos, o que hoje pode proporcionar: segurança, confiabilidade, estabilidade, auto-organização (*mesh*), baixo consumo, sistemas de gerenciamento de potência e baterias de longa vida.

Em termos de benefícios podemos citar, entre outros:

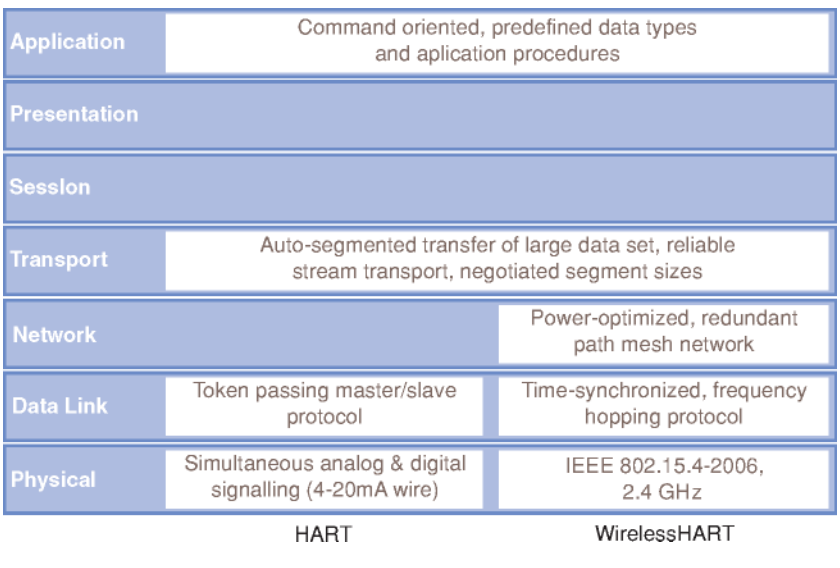
- a redução de custos e simplificação das instalações;
- a redução de custos de manutenção, pela simplicidade das instalações;
- monitoração em locais de difícil acesso ou expostos a situações de riscos;
- escalabilidade;
- integridade física das instalações com uma menor probabilidade a danos mecânicos e elétricos (rompimentos de cabos, curto-circuitos no barramento, ataques químicos, etc.).

Hoje, no mercado vemos várias redes proprietárias e também algumas padronizadas. Existem muitos protocolos relacionados

F3. Estrutura da WirelessHART™.



F4. Sistema Wireless com o DF100 (Controlador HSE- WirelessHART™).



F5. HART Modelo OSI.

com as camadas superiores da tecnologia (ZigBee, WirelessHART™, ISA SP100) e o protocolo IEEE 802.15.4 (2006) para as camadas inferiores. O protocolo IEEE 802.15.4 define as características da camada física e do controle de acesso ao meio para as LR-WPAN (*Low-Rate Wireless Personal Area Network*). Veja a **figura 2**.

A padronização para redes sem fio mostra que, ainda que existam diferenças, as normas estão convergindo para a SP100 e WirelessHART™, da ISA e HCF(HART Foundation) e que hoje vem sendo adotado como padrão para a Foundation Fieldbus e PROFIBUS, respectivamente. Vamos comentar um pouco sobre o WirelessHART™.

WirelessHART™

A estrutura de uma rede WirelessHART™, representada na **figura 3**, inclui:

- Equipamentos de campo para aquisição e atuação;
- Roteadores;
- Adaptadores que acoplados a equipados com fio permitem a comunicação wireless;
- *Hand-helds* para configuração;
- *Access points* para conectar *devices* ao gateway;
- Gateways (simples ou redundantes) que funcionam como bridges para o Host;
- *Network manager* (simples ou redundantes) que podem residir no gateway;
- *Security Manager* que confere segurança, chaves e encriptação de dados.

A **figura 4** mostra uma rede WirelessHART™ com o DF100, Controlador HSE-WirelessHART™. Opera na frequência de 2,4 GHz ISM usando o *Time Division Multple Access* (TDMA) para sincronizar a comunicação entre os vários equipamentos da rede. Toda a comunicação é realizada dentro de um *slot* de tempo de 10 ms. Slots de tempo formam um *superframe*.

O protocolo HART foi elaborado com base na camada 7 do protocolo OSI.

Com a introdução da tecnologia sem fio ao HART tem-se duas novas camadas de Data Link: *token-passing* e TDMA. Ambas suportam a camada de aplicação HART

A **figura 5** ilustra a arquitetura do WirelessHART™ de acordo com o modelo OSI. O *stack* do WirelessHART™ possui

5 camadas (*layers*): physical layer, data link layer, network layer, transport layer e application layer. Além disso, o *network manager* central é responsável por todo roteamento e *scheduling* da rede.

Physical layer

O WirelessHART™ adota uma arquitetura utilizando o meio físico em uma rede "Mesh" baseada no IEEE 802.15.4 operando na faixa de 2,4 GHz. Os rádios utilizam o método de DSSS (espalhamento espectral com sequenciamento direto) ou salto de canais FHSS (*Spread Spectrum de salto de frequências*) para uma comunicação segura e confiável, assim como comunicação sincronizada entre os dispositivos da rede utilizando TDMA (*Time Division Multiple Acess)*. Os canais são numerados de 11 a 26 com *gap* de frequência de 5 MHz entre dois canais adjacentes.

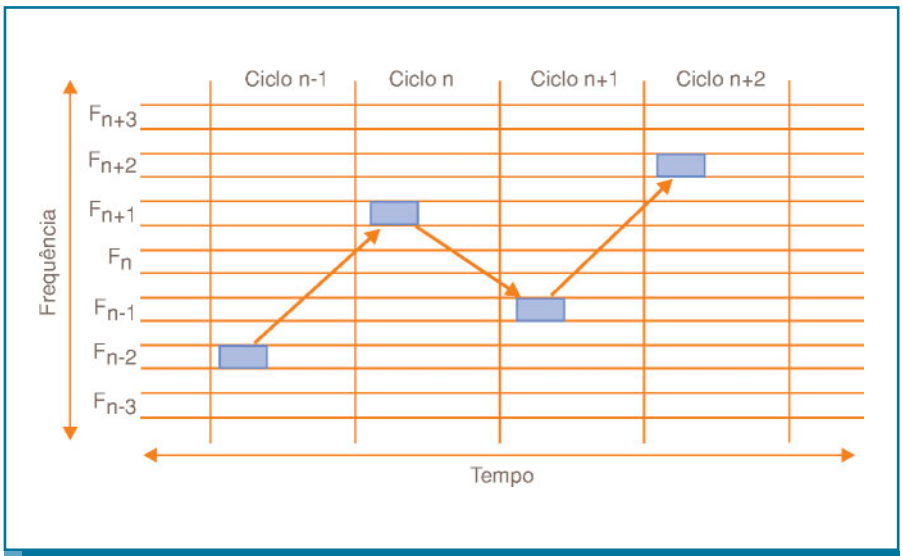
Data Link layer

Uma das características do WirelessHART™ é a sincronização da comunicação no *data link layer*. Opera na frequência de 2,4 GHz ISM usando o *Time Division Multple Access (TDMA)* para sincronizar a comunicação entre os vários equipamentos da rede. Toda a comunicação é realizada dentro de um *slot* de tempo de 10 ms. Slots de tempo formam um *superframe*.

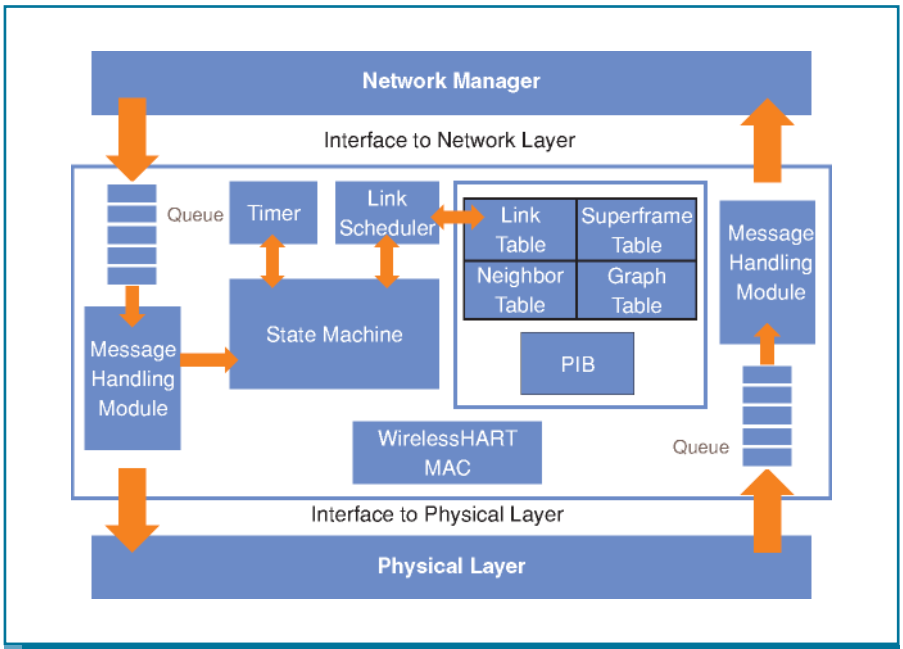
O WirelessHART™ suporta chaveamento de canais (channel hopping), **figura 6**, a fim de evitar interferências e reduzir os efeitos de esvanecimento multipercurso (multi-path fadings). Canais onde existem interferências são colocados numa lista negra (Black List). Cada *device wireless* possui uma tabela de canais ativos e tem pelo menos 16 entradas. Para um determinado slot (**figura 7**) e offset de canal (que provê o canal lógico a ser usado em uma transação), o canal atual é dado pela fórmula:

CanalAtual = (Offset de canal + ASN)% NumChannels, onde ASN é o número absoluto do slot.

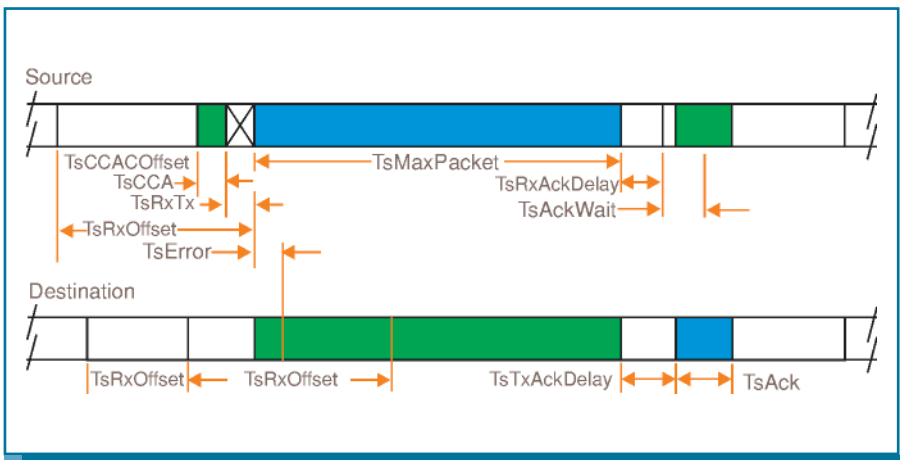
O canal atual é usado como um índice em uma tabela de canais ativos para que seja obtido o canal físico. Uma vez que o ASN é aumentando constantemente, o mesmo offset de canal pode ser mapeado em diferentes slots de tempo e, desta forma, aumenta-se a diversidade e confiabilidade da comunicação. A **figura 8** mostra a arquitetura do Data Link Layer do WirelessHART™.



F6. Channel hopping.



F7. Slot Timing do WirelessHART™.



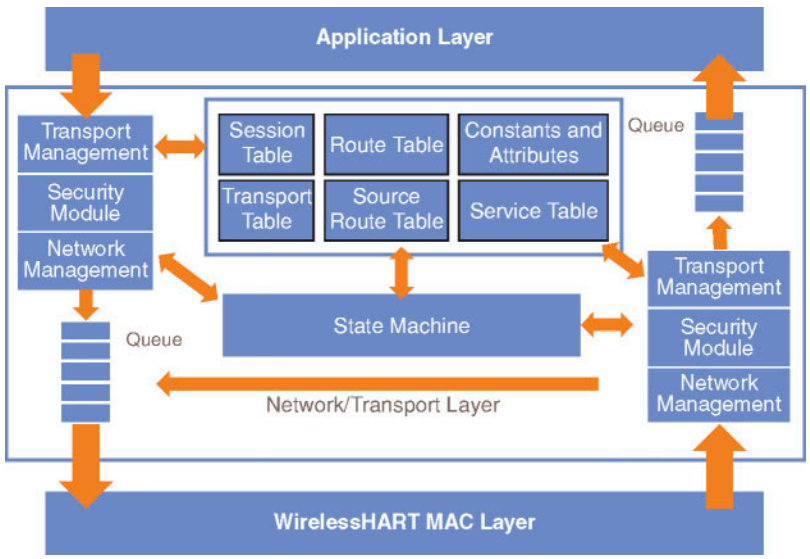
F8. Arquitetura do Data Link Layer.

Network layer e Transport layer

Estas duas camadas contribuem para a segurança e confiabilidade da comunicação. A **figura 9** exibe a arquitetura do network layer do WirelessHART™. A **figura 10** exibe sua estrutura NPDU e a **figura 11** sua estrutura TPDU. Atente também para a **figura 12**, onde se compara o PDU do HART com o WirelessHART™.

Para suportar a tecnologia de rede mesh cada equipamento WirelessHART™ deve ser capaz de transmitir pacotes "em nome" de outros dispositivos. Há três modelos de roteamentos definidos:

- **Graph Routing:** Um grafo é uma coleção de caminhos que permitem a conexão dos nós da rede. Os caminhos de cada grafo são criados pelo network manager e enviados para cada dispositivo da rede. Assim sendo, para enviar um pacote de dados, o dispositivo de origem escreve um ID de um grafo específico (determinado pelo destino) no cabeçalho da rede. Todos os dispositivos de rede no caminho para o destino devem ser pré-configurados com informações do grafo que especifica os vizinhos para que o pacote de dados possa ser enviado;
- **Sourcing Routing:** este tipo de roteamento é um complemento do Graph Routing, visando diagnósticos de rede. Para enviar um pacote de dados ao seu destino, o dispositivo inclui no cabeçalho uma lista ordenada de dispositivos através de qual o pacote deve percorrer. Como o pacote é roteado, cada dispositivo do roteamento utilizará o endereço do próximo dispositivo de rede para determinar o próximo salto até que o dispositivo de destino seja alcançado;
- **Superframe Routing:** é um tipo especial de Graph Routing, onde os pacotes são atribuidos a um superframe.



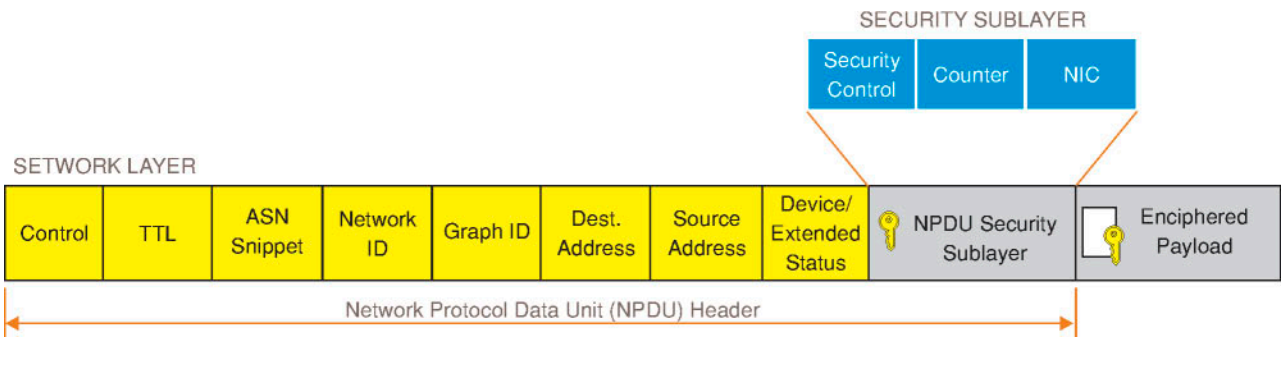
F9. Arquitetura do network layer do WirelessHart.

Application Layer

A camada de aplicação é a camada mais alta no WirelessHART™. Ela define os comandos de diferentes dispositivos, as respostas, tipos de dados e relatórios de status. No WirelessHART™, a comunicação entre os dispositivos e gateways baseia-se em comandos e respostas. A camada de aplicação é responsável por analisar o conteúdo da mensagem, extrair o número do comando, executar o comando especificado, gerando respostas. Esta camada usa a camada de aplicação padrão do HART que é baseada em comandos, onde temos: universais, práticos comuns, específicos e os comandos wireless que foram definidos para atender esta tecnologia

Conclusão

O fator tecnológico e a inovação tecnológica são responsáveis pelo rompimento e/ou aperfeiçoamento das técnicas e processos de medição e controle. Pode, desta forma, trazer ganhos em termos de competitividade. O rompimento com a tecnologia convencional

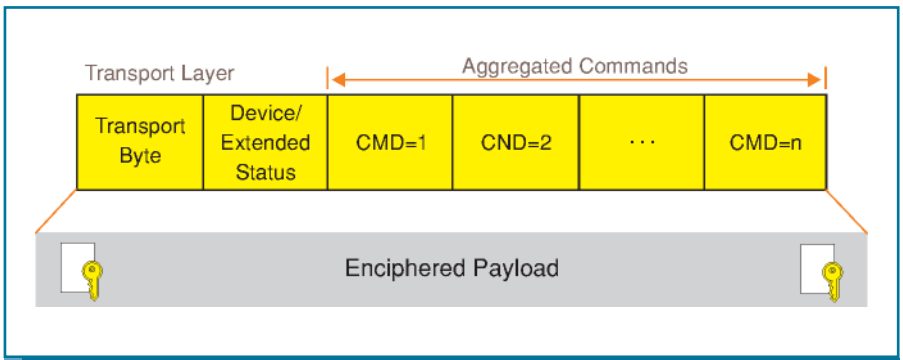


F10. Estrutura NPDU do WirelessHART™.

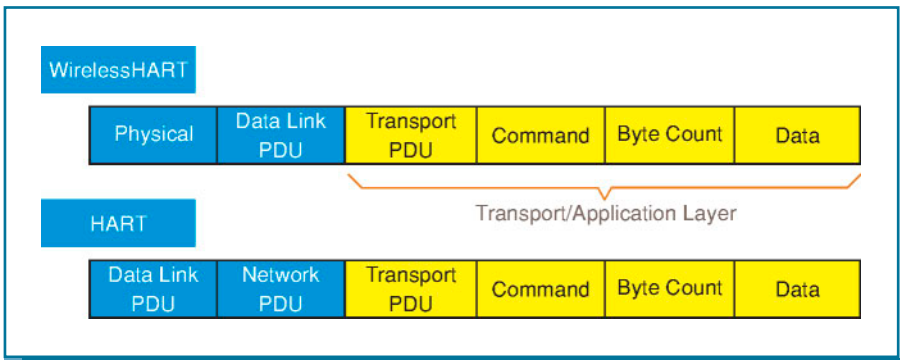
será uma questão de tempo e com isto serão ampliadas as possibilidades de sucesso com a inovação demandada pelo mercado, neste caso sistemas de automação verdadeiramente abertos (vide **figura 13, www.system302.com.br**), com tecnologias digitais, baseado em redes industriais, conectividade Wireless e com várias vantagens comparadas aos convencionais SDCDs.

A mudança do controle de processo da tecnologia 4-20 mA para as redes digitais e sistemas abertos já se encontra num estágio de maturidade tecnológica e com os usuários colhendo seus benefícios. Essa mudança é encarada como um processo natural demandado pelos novos requisitos de qualidade, confiabilidade e segurança do mercado. A sua utilização traz uma vantagem competitiva, no sentido que essa nova tecnologia traz aumentos de produtividade pela redução das variabilidades dos processos e redução dos tempos de indisponibilidade das malhas de controle.

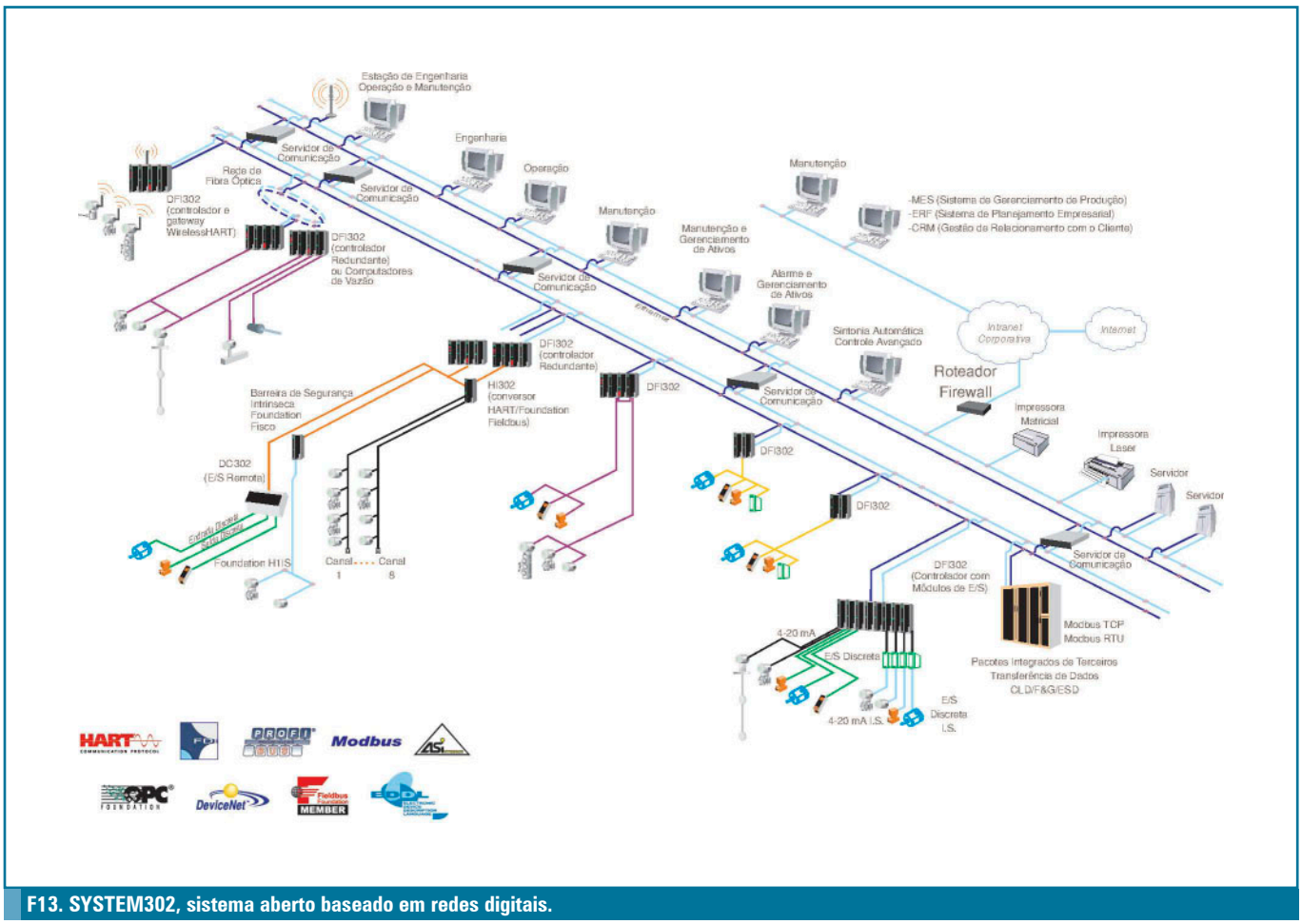
Aguardem os próximos artigos sobre o WirelessHART™. **MA**



F11. Estrutura TPDU do WirelessHART™.



F12. Comparação entre o PDU (Protocol Data Units) do HART com o WirelessHART™.



F13. SYSTEM302, sistema aberto baseado em redes digitais.

SIS Sistemas Instrumentados de Segurança

Uma visão prática

Parte 3

Os Sistemas de Segurança Instrumentados (SIS) são utilizados para monitorar a condição de valores e parâmetros de uma planta dentro dos limites operacionais e, quando houver condições de riscos, devem gerar alarmes e colocar a planta em uma condição segura, ou na condição de shutdown

César Cassiolato
Diretor de Marketing, Qualidade
e Engenharia de Projetos e Serviços
- Smar Equipamentos Industriais

saiba mais

IEC 61508, "Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems".

IEC 61511-1, clause 11, "Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector - Part 1: Framework, definitions, system, hardware and software requirements", 2003-01

Sistema de intertravamento de segurança. Esteves, Marcello; Rodriguez, João Aurélio V.; Maciel, Marcos, 2003.

ESTEVES, Marcello; RODRIGUEZ, João Aurélio V.; MACIEL, Marcos. **Sistema de intertravamento de segurança**, 2003.

Confiabilidade nos Sistemas de Medições e Sistemas Instrumentados de Segurança. César Cassiolato

Manual LD400-SIS

SIS - Parte 2, César Cassiolato **Mecatrônica Atual 52**

As condições de segurança devem ser seguidas sempre e adotadas em plantas, e as melhores práticas operacionais e de instalação são deveres dos empregadores e empregados. Vale lembrar ainda que o primeiro conceito em relação à legislação de segurança é garantir que todos os sistemas sejam instalados e operados de forma segura e o segundo é que instrumentos e alarmes envolvidos com segurança sejam operados com confiabilidade e eficiência.

Os Sistemas Instrumentados de Segurança (SIS) são os sistemas responsáveis pela segurança operacional e que garantem a parada de emergência dentro dos limites considerados seguros, sempre que a operação ultrapassar estes limites. O objetivo principal é se evitar acidentes dentro e fora das fábricas, como incêndios, explosões, danos aos equipamentos, proteção da produção e da propriedade e mais do que isso, evitar riscos de vidas ou danos à saúde pessoal e

impactos catastróficos para a comunidade. Deve-se ter de forma clara que nenhum sistema é totalmente imune a falhas e sempre deve proporcionar mesmo em caso de falha, uma condição segura.

Durante muitos anos os sistemas de segurança foram projetados de acordo com os padrões alemães (DIN V VDE 0801 e DIN V 19250), que foram bem aceitos durante anos pela comunidade mundial de segurança e que culminaram com os esforços para um padrão mundial, a IEC 61508, que serve hoje de guarda-chuva em seguranças operacionais envolvendo sistemas elétricos, eletrônicos, e dispositivos programáveis para qualquer tipo de indústria. Este padrão cobre todos os sistemas de segurança que têm natureza eletromecânica.

Os produtos certificados de acordo com a IEC 61508 devem tratar basicamente 3 tipos de falhas:

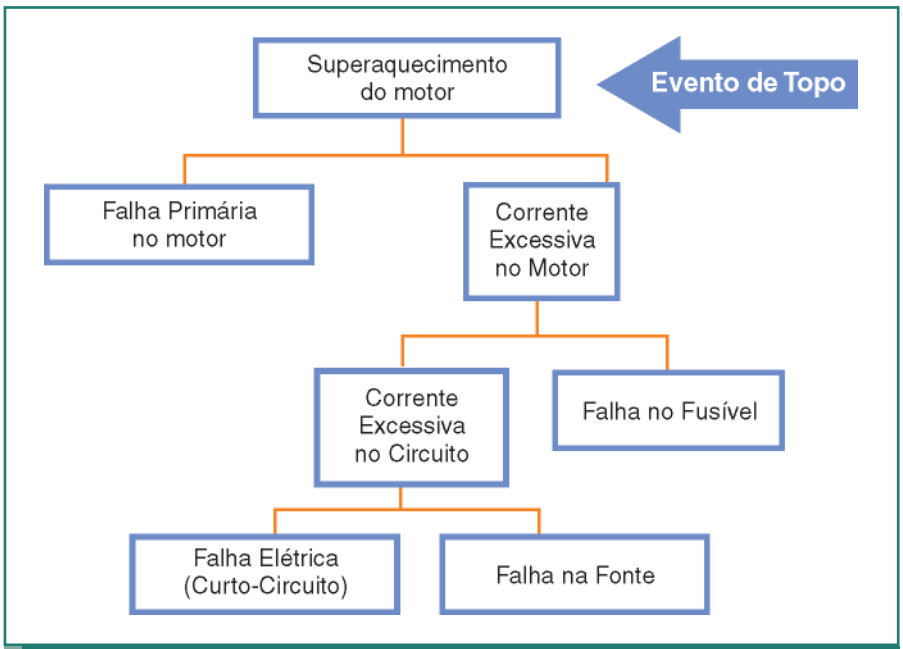
- Falhas de hardware randômicas;
- Falhas sistemáticas;
- Falhas de causas comuns.

A IEC 61508 é dividida em 7 partes, das quais as 4 primeiras são mandatórias e as 3 restantes servem de guias de orientação:

- **Part 1:** General requirements;
- **Part 2:** Requirements for E/E/PE safety-related systems;
- **Part 3:** Software requirements;
- **Part 4:** Definitions and abbreviations;
- **Part 5:** Examples of methods for the determination of safety integrity levels;
- **Part 6:** Guidelines on the application of IEC 61508-2 and IEC 61508-3;
- **Part 7:** Overview of techniques and measures.

Este padrão trata sistematicamente todas as atividades do ciclo de vida de um SIS (Sistema Instrumentado de Segurança) e é voltado para a performance exigida do sistema, isto é, uma vez atingido o nível de SIL (nível de integridade de segurança) desejável, o nível de redundância e o intervalo de teste ficam a critério de quem especificou o sistema.

A IEC 61508 busca potencializar as melhorias dos PES (*Programmable Electronic Safety*, onde estão incluídos os CLPs, sistemas microprocessados, sistemas de controle distribuído, sensores e atuadores inteligentes, etc) de forma a uniformizar os conceitos envolvidos.



F1. Exemplo de FTA.

Recentemente vários padrões sobre o desenvolvimento, projeto e manutenção de SIS foram elaborados, onde já citamos a IEC 61508 (indústrias em geral) e vale citar também a IEC 61511, voltada às indústrias de processamento contínuo, líquidos e gases.

Na prática se tem visto em muitas aplicações a especificação de equipamentos com certificação SIL para serem utilizados em sistemas de controle, e sem função de segurança. Acredita-se também que exista no mercado desinformação, levando a compra de equipamentos mais caros, desenvolvidos para funções de segurança onde na realidade serão aplicados em funções de controle de processo, nas quais a certificação SIL não traz os benefícios esperados, dificultando inclusive a utilização e operação dos equipamentos.

Além disso, esta desinformação leva os usuários a acreditarem que têm um sistema de controle seguro certificado, mas na verdade eles possuem um controlador com funções de segurança certificado.

Com o crescimento do uso e aplicações com equipamentos e instrumentação digitais, é de extrema importância aos profissionais envolvidos em projetos ou no dia a dia da instrumentação, que se capacitem e adquiram o conhecimento de como determinar a performance exigida pelos sistemas de segurança, que tenham o domínio das ferramentas de cálculo e as taxas de riscos que se encontram dentro de limites aceitáveis.

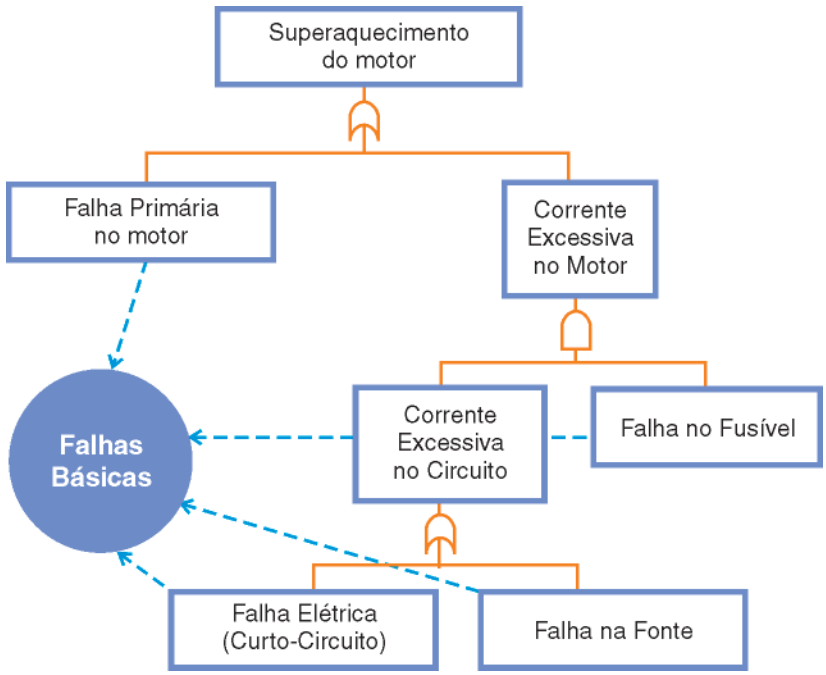
Ademais, é necessário:

- Entender as falhas em modo comum, saber quais tipos de falhas seguras e não seguras são possíveis em um determinado sistema, como preveni-las e mais do que isso, quando, como, onde e qual grau de redundância é mais adequado para cada caso;
- Definir o nível de manutenção preventiva adequado para cada aplicação.

O mero uso de equipamentos modernos, sofisticados ou mesmo certificados, por si só, não garante absolutamente nenhuma melhoria de confiabilidade e segurança de operação, quando comparado com tecnologias tradicionais, exceto quando o sistema é implantado com critérios e conhecimento das vantagens e das limitações inerentes a cada tipo de tecnologia disponível. E mais, deve-se ter em mente toda a questão do ciclo de vida de um SIS.

Comumente vemos acidentes relacionados a dispositivos de segurança *bypassados* pela operação, ou durante uma manutenção. Certamente é muito difícil evitar na fase de projeto que um dispositivo desses venha a ser *bypassado* no futuro, mas através de um projeto criterioso e que atenda melhor às necessidades operacionais do usuário do sistema de segurança, é possível eliminar ou reduzir consideravelmente o número de *bypasses* não autorizados.

Através do uso e aplicação de técnicas com circuitos de lógica fixas ou progra-



F2. Exemplo de FTA usando elementos lógicos.

Porta "OU": indica que a saída do evento ocorre quando há uma entrada de qualquer tipo.
Porta "E": indica que a saída do evento ocorre somente quando há uma entrada simultânea de todos os eventos.
Porta de Inibição: indica que a saída do evento ocorre quando acontece a entrada e a condição inibidora é satisfeita.
Porta de Restrição: indica que a saída do evento ocorre quando a entrada acontece e o tempo específico de atraso ou restrição expirou.
EVENTO BÁSICO: representa a **Falha Básica** do equipamento ou falha do sistema que não requer outras falhas ou defeitos adicionais.
EVENTO INTERMEDIÁRIO: representa uma falha num evento, resultado da interação com outras falhas que são desenvolvidas através de entradas lógicas como as acima descritas.
EVENTO NÃO DESENVOLVIDO: representa uma falha que não é examinada mais, porque a informação não está disponível ou porque suas consequências são insignificantes.
EVENTO EXTERNO: representa uma condição ou um evento que é suposto existir como uma condição limite do sistema para análise.
TRANSFERÊNCIAS: indica que a árvore da falhas é desenvolvida de forma adicional em outras folhas. Os símbolos de transferência são identificados através de números ou letras.

F3. Símbolos Lógicos usados na FTA.

máveis, tolerantes a falha e/ou de falha segura, microcomputadores e conceitos de software, hoje já se pode projetar sistemas eficientes e seguros com custos adequados a esta função.

O grau de complexidade de SIS depende muito do processo considerado. Aquecedores, reatores, colunas de craqueamento, caldeiras e fornos são exemplos típicos de equipamentos que exigem sistemas de intertravamento de segurança cuidadosamente projetados e implementados.

O funcionamento adequado de um SIS requer condições de desempenho e diagnósticos superiores aos sistemas convencionais. A operação segura em um SIS é composta de sensores, programadores lógicos, processadores e elementos finais projetados com a finalidade de provocar a parada sempre que houver limites seguros sendo ultrapassados (por exemplo, variáveis de processos como pressão e temperatura acima dos limites de alarme muito alto), ou mesmo impedir o funcionamento em condições não favoráveis às condições seguras de operação.

Exemplos típicos de sistemas de segurança:

- Sistema de Shutdown de Emergência (ESD);
- Sistema de Shutdown de Segurança (SSD);
- Sistema de Intertravamento de Segurança;
- Sistema de Fogo e Gás.

Vimos no artigo anterior, na segunda parte, alguns detalhes sobre Engenharia de Confiabilidade. Veremos, agora, sobre modelos usando sistemas em série e paralelo, árvores de falhas (*Fault Trees*), modelo de Markov e alguns cálculos.

Análise de Falhas – Árvore de Falhas (Fault Trees)

Existem algumas metodologias de análises de falhas. Uma delas e bastante utilizada é a análise da árvore de falhas (*Fault Tree Analysis* – FTA), que visa melhorar a confiabilidade de produtos e processos através da análise sistemática de possíveis falhas e suas consequências, orientando na adoção de medidas corretivas ou preventivas.

O diagrama da árvore de falhas mostra o relacionamento hierárquico entre os modos de falhas identificados. O processo de construção da árvore tem início com a percepção ou previsão de uma falha, que a

seguir é decomposto e detalhado até eventos mais simples. Dessa forma, a análise da árvore de falhas é uma técnica *top-down*, pois parte de eventos gerais que são desdobrados em eventos mais específicos.

Na **figura 1**, é mostrado um exemplo de um diagrama FTA aplicado a uma falha em um motor de elétrico. O evento inicial, que pode ser uma falha observada ou prevista, é chamado de evento de topo, e está indicado pela seta azul. A partir desse evento são detalhadas outras falhas até chegar a eventos básicos que constituem o limite de resolução do diagrama. As falhas mostradas em amarelo compõem o limite de resolução deste diagrama.

É possível adicionar ao diagrama elementos lógicos, tais como 'E' e 'OU', para melhor caracterizar os relacionamentos entre as falhas. Dessa forma, é possível utilizar o diagrama para estimar a probabilidade de uma falha acontecer a partir de eventos mais específicos. O exemplo dado na **figura 2** mostra uma árvore aplicada ao problema de superaquecimento em um motor elétrico utilizando elementos lógicos.

A análise da Árvore de Falhas foi desenvolvida no início dos anos 60 pelos engenheiros da Bell Telephone Company.

Símbolos Lógicos usados na FTA

A realização da FTA é uma representação gráfica da inter-relação entre as falhas de equipamentos ou de operação que podem resultar em um acidente específico. Os símbolos exibidos na **figura 3**, são usados na construção da árvore para representar esta inter-relação.

Modelos de Markov

Um modelo de Markov é um diagrama de estado onde se identificam os diversos estados de falha de um sistema. Os estados são ligados por arcos identificados com as taxas de falha ou as taxas de reparo que levam o sistema de um estado para outro (vide **figura 4** e **figura 5**). Os modelos de Markov são conhecidos também como diagramas de espaço de estados, ou diagramas de estado. O espaço de estados é definido como o conjunto de todos os estados em que o sistema pode se encontrar.

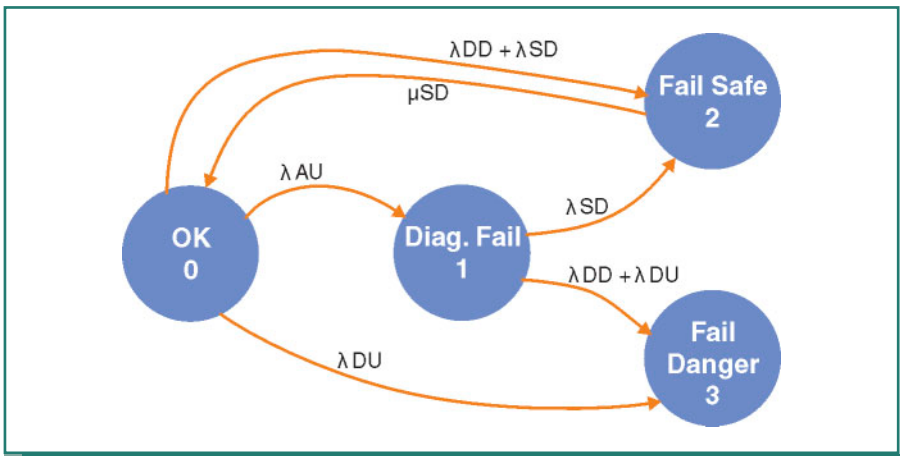
Para um determinado sistema, um modelo de Markov consiste em uma lista dos estados possíveis desse sistema, os caminhos possíveis de transição entre os estados, e as taxas de falhas de tais transições. Na análise da confiabilidade das transições consistem geralmente de falhas e reparos. Ao representar um modelo de Markov graficamente, cada estado é representado como um "círculo", com setas indicando os caminhos de transição entre os estados, como mostrado na figura 4.

O método de Markov é uma técnica útil para modelar a confiabilidade de sistemas nos quais as falhas são estatisticamente independentes e as taxas de falha e reparo são constantes.

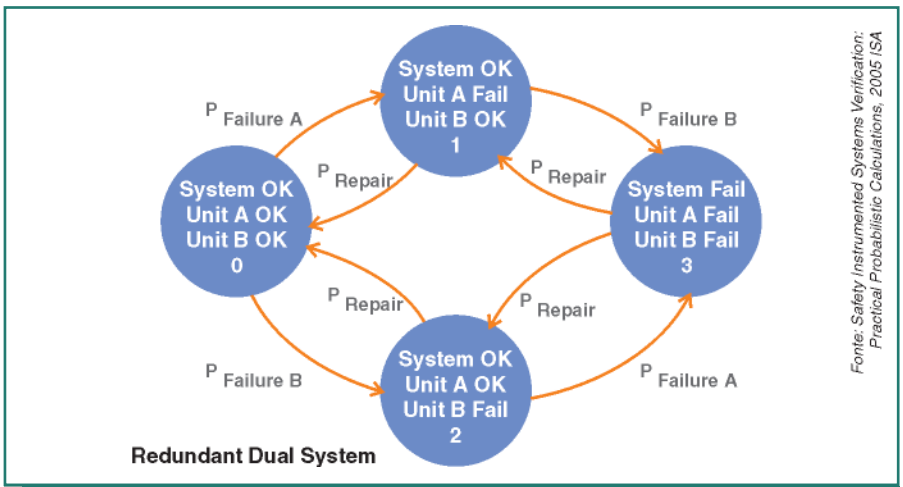
Entende-se como estado de um componente o conjunto de possíveis valores que seus parâmetros podem assumir. Estes parâmetros são chamados variáveis de estado e descrevem a condição do componente. O espaço de estados é o conjunto de todos estados que um componente pode apresentar.

O modelo de Markov de um verdadeiro sistema geralmente inclui um "full-up" do estado (ou seja, o estado com todos os elementos operacionais) e um conjunto de estados intermediários que representam uma condição de falha parcial, levando ao estado totalmente em falha, ou seja, o estado em que o sistema é incapaz de desempenhar a sua função de projeto. O modelo pode incluir caminhos de reparação de transição, bem como os caminhos de transição de falha. Em geral, cada caminho de transição entre dois estados reduz a probabilidade do estado que ele está partindo, e aumenta a probabilidade do estado em que está entrando, a uma taxa igual ao parâmetro de transição multiplicada pela probabilidade atual do estado de origem.

O fluxo de probabilidade total em um determinado estado é a soma de todas as taxas de transição para esse estado, cada uma multiplicada pela probabilidade do estado na origem dessa transição. A saída de fluxo de probabilidade de um dado estado é a soma de todas as transições que saem



F4. Exemplo de modelo de Markov.



F5. Exemplo de modelo de Markov em sistema redundante.

do estado multiplicado pela probabilidade daquele determinado estado. Para ilustrar, os fluxos de entrada e saída típica de um estado e de estados vizinhos estão representados na figura 4.

Neste modelo, todas as falhas são classificadas como falhas perigosas ou como falhas seguras. Uma falha perigosa é aquela que põe o sistema de segurança em um estado em que ele não estará disponível para parar o processo, se isto vier a ser necessário. Uma falha segura é aquela que leva o sistema a parar o processo em uma situação onde não existe perigo. A falha segura é normalmente chamada de "trip" falso, ou espúrio.

Os modelos de Markov incluem fatores de cobertura de diagnóstico para todos os componentes e taxas de reparos. Os modelos consideram que as falhas que não forem detectadas serão diagnosticadas e reparadas por testes de prova periódicos (*proof tests*).

Os modelos de Markov incluem ainda taxas de falhas associadas a falhas funcionais e falhas comuns de hardware.

A modelagem do sistema deve incluir todos os tipos possíveis de falhas e estas podem ser agrupadas em duas categorias, **Falhas Físicas** e **Falhas Funcionais.**

As falhas físicas são as que ocorrem quando a função desempenhada por um módulo, um componente, etc., apresenta um desvio em relação à função especificada devido à degradação física e podem ocorrer por envelhecimento natural, ou falhas provocadas pelo ambiente.

Para se utilizar as falhas físicas nos modelos de Markov deve-se determinar a causa das falhas e seus efeitos nos módulos, etc. As falhas físicas devem ser categorizadas como falhas dependentes ou independentes.

Falhas independentes são aquelas que nunca afetam mais do que um módulo, enquanto que as falhas dependentes podem vir a causar a falha de vários módulos.

As falhas funcionais são as que ocorrem quando o equipamento físico está em operação embora sem capacidade de desempenhar a função especificada devido a uma deficiência funcional, ou a um erro humano. Exemplos de falhas funcionais são: erros de projeto do sistema de segurança, de software, na ligação do hardware, erros de interação humana e erros de projeto do hardware.

Nos modelos de Markov, as falhas funcionais são separadas em falhas seguras e falhas perigosas. Supõe-se que uma falha funcional segura resultará em um trip espúrio. De modo similar, uma falha funcional perigosa resultará em um estado de "falha para atuar", isto é, aquela em que o sistema não estará disponível para parar o processo.

A avaliação da taxa de falha funcional deve levar em consideração muitas causas possíveis, como por exemplo:

1) Erros de projeto do sistema de segurança

Aqui se incluem erros de especificação lógica do sistema de segurança, escolha de arquitetura inadequada para o sistema, seleção incorreta de sensores e atuadores, erros no projeto da interface entre os CLPs e os sensores e atuadores.

2) Erros de implementação do hardware

Esses erros incluem erros na ligação dos sensores e dos atuadores aos CLPs. A probabilidade de erro cresce com a redundância de E/S, se o usuário tiver que ligar cada sensor e cada atuador a vários terminais de E/S. A utilização de sensores e atuadores redundantes também acarretará em uma maior probabilidade de erros de ligação.

3) Erros de software

Esses erros incluem os erros em softwares desenvolvidos tanto pelo fornecedor quanto pelo usuário. Os softwares de fornecedores tipicamente incluem o sistema operacional, as rotinas de E/S, funções aplicativas e linguagens de operação. Os erros de software do fornecedor podem ser minimizados ao se assegurar um bom projeto de software e a observância dos procedimentos de codificação e testes. A realização de testes independentes por outras organizações também pode ser muito útil.

Os erros de software desenvolvidos pelo usuário incluem erros no programa aplicativo, diagnósticos e rotinas de interface do usuário (*displays,* etc.). Engenheiros especializados em software de sistemas de segurança podem ajudar a minimizar os erros de software do usuário. Deve-se realizar também testes exaustivos dos softwares.

4) Erros de interação humana

Aqui se incluem os erros de projeto e de operação da interface homem - máquina do sistema de segurança, os erros cometidos durante testes periódicos do sistema de segurança e durante a manutenção de módulos defeituosos do sistema de segurança. Os erros de manutenção podem ser reduzidos através de um bom diagnóstico do sistema de segurança que identifique o módulo defeituoso e que inclua indicadores de falha nos módulos defeituosos. Vale lembrar aqui que não existe um diagnóstico perfeito, ou a prova de falhas.

5) Erros de projeto do hardware

Entre esses erros, incluem-se os erros do projeto de fabricação dos CLPs, sensores e atuadores, bem como os erros do usuário na interface entre o sistema de segurança e o processo.

Em configurações redundantes de CLPs, sensores e elementos de atuação, algumas falhas funcionais podem ser reduzidas através da utilização de diversos hardwares e/ ou softwares.

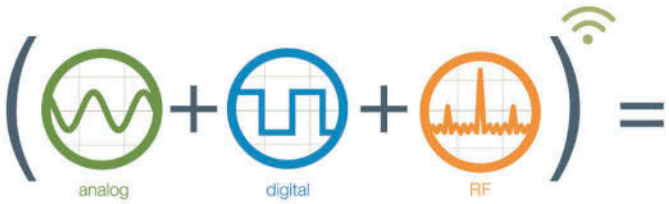
As falhas dependentes devem ser modeladas de modo diferente, já que é possível que ocorram falhas múltiplas simultaneamente. Do ponto de vista da modelagem, as falhas dependentes dominantes são falhas de causa comum. As falhas de causa comum são o resultado direto de uma causa básica comum. Um exemplo disso é a interferência de radiofrequência que causa a falha simultânea de módulos múltiplos. A análise desse tipo de falhas é bastante complexa e exige um profundo conhecimento do Sistema, tanto em nível de hardware e de software quanto do próprio ambiente.

Certamente, com equipamentos e ferramentas certificadas de acordo com o padrão IEC 61508, tem-se o conhecimento das taxas de falhas dos produtos, facilitando cálculos e arquiteturas de segurança.

Conclusão

Em termos práticos o que se busca é a redução de falhas e, consequentemente, a redução de paradas e riscos operacionais. Busca-se o aumento da disponibilidade operacional e também em termos de processos, a minimização da variabilidade com consequência direta no aumento da lucratividade.

Nos próximos artigos desta série veremos mais detalhes sobre SIS. Na quarta parte abordaremos o Processo de Verificação de SIF. **MA**



O Primeiro Osciloscópio de Múltiplo Domínio com Análise de Espectro

MDO4000 Mixed Domain Oscilloscope

1 Domínio Tempo 2 Domínio Frequência

- 4 canais analógicos
  - 500 MHz e 1 GHz largura de banda
- 16 canais digitais
- 1 canal RF
  - 50 kHz–3 GHz e 50 kHz–6 GHz modelos de range de frequência
  - Ultra-wide largura de banda de até 3 GHz
  - Ferramentas de análise de RF exclusivas: marcadores, display espectrograma, linha RF vs. tempo, triggers avançados de RF
- Análise e trigger de bus de dados paralelos padrão
- Análise e trigger de bus de dados serial opcional
- Fabricado na mesma plataforma do já conhecido MSO4000B

O único osciloscópio 4 em 1
(osciloscópio + analisador de espectro + analisador lógico + analisador de protocolo)

Conheça a Série MDO4000 da Tektronix, o osciloscópio com análise de espectro revolucionário

Este é muito mais que um novo osciloscópio - vai transformar o método que você faz medidas. Capture e correlacione sinais analógicos, digitais e RF para uma visão completa do seu sistema. Veja os domínios do tempo e frequência numa única tela. Veja o espectro de RF em qualquer ponto do tempo e como ele se altera. Rapidamente e eficientemente resolva os mais complicados problemas de projeto—com um osciloscópio tão bem integrado com o seu projeto. Dois domínios. Um osciloscópio revolucionário. Apenas com a Tektronix.

Veja como nós transformamos o seu teste: Veja o osciloscópio em ação, analise a especificação e veja mais em www.tektronix.com/revolutionary.
Consulte-nos e saiba mais
Tel.: 11 3759-7643 / 8653

Tektronix®

© 2011 Tektronix, Inc. All rights reserved. Tektronix products are covered by U.S. and foreign patents, issued and pending. TEKTRONIX and the Tektronix logo are registered trademarks and LabVIEW SignalExpress is a trademark of National Instruments.

tecnologia japonesa

Omron, a **qualidade** que você merece ao alcance das suas **mãos.**

E5CSL
Controlador de Temperatura
Componentes Industriais

E3F2
Sensor Fotoelétrico
Soluções de Sensoriamento

OS32C
Scanner de Segurança
Soluções de Segurança

3G3JX
Inversor de Frequência
Soluções de Movimento

CP1E
Controlador Lógico Programável
Automação e Controle

FQ
Sensor de Visão Compacto
Sistemas de Visão e Medição

www.industrial.omron.com.br

Sensing tomorrow™

OMRON